

核技术利用建设项目

江东院区（下中坝院区）新增放 射性同位素和射线装置应用项目 环境影响报告表 （公示本）

南充市中心医院
二〇二〇年十月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

江东院区（下中坝院区）新增放 射性同位素和射线装置应用项目 环境影响报告表

建设单位：南充市中心医院

建设单位法人代表（签名或签章）：***

通讯地址：四川省南充市顺庆区人民南路 97 号

邮政编码：637000

联系人：***

电子邮件：***@qq.com

联系电话：***

目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	21
表 3	非密封放射性物质.....	22
表 4	射线装置.....	23
表 5	废弃物.....	25
表 6	评价依据.....	27
表 7	保护目标与评价标准.....	30
表 8	环境质量和辐射现状.....	34
表 9	项目工程分析与源项.....	36
表 10	辐射安全与防护.....	53
表 11	环境影响分析.....	74
表 12	辐射安全管理.....	135
表 13	结论与建议.....	142

附表：

建设项目环评审批基础信息表。

附件：

附件 1 环评委托书；

附件 2 环评执行标准；

附件 3 无辐射事故发生的情况说明；

附件 4 关于调整放射诊疗与辐射安全管理委员会的通知；

附件 5 辐射安全许可证；

附件 6 辐射工作人员个人剂量统计表；

附件 7 辐射工作人员培训情况表；

附件 8 原四川省环境保护厅《关于南充市中心医院下中坝院区建设项目环境影响报告书的批复》（川环审批[2012]725号）；

附件 9 医疗废物处置协议；

附件 10 本项目辐射环境监测报告；

附件 11 南充市住房和城乡建设局《关于南充市中心医院新院区选址规划审查意见的报告》（南规[2012]74号）和《关于对市中心医院下中坝院区医疗污水排放地点的回复》（南建函[2012]366号）。

附图：

附图 1 本项目地理位置图；

附图 2 医院江东院区（下中坝院区）总平面布置及外环境关系图；

附图 3 医院江东院区（下中坝院区）建筑效果平面示意图；

附图 4 第二住院楼一层平面布置图（放疗中心、核医学科）；

附图 5 第二住院楼一层两区划分图（放疗中心、核医学科）；

附图 6 医用直线加速器治疗室、后装机治疗室平面布置图；

附图 7 医用直线加速器治疗室、后装机治疗室剖面图；

附图 8 医用直线加速器治疗室、后装机治疗室辐射安全设施布置图；

附图 9 急诊楼三层平面布置图（介入手术室）；

附图 10 急诊楼三层两区划分图（介入手术室）；

附图 11 门诊医技楼平面布置图（杂交手术室）；

- 附图12 门诊医技楼两区划分图（杂交手术室）；
- 附图13 第三住院楼一层平面布置图（ERCP治疗室）；
- 附图14 第三住院楼一层两区划分图（ERCP治疗室）；
- 附图15 直线加速器治疗室、后装机治疗室平面布置图；
- 附图16 直线加速器治疗室、后装机治疗室剖面图；
- 附图17 核医学科人流、物流示意图；
- 附图18 放射性废水衰变池平面、剖面图；
- 附图19 核医学科放射性废水走向图；
- 附图20 核医学科放射性废气走向图。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		江东院区（下中坝院区）新增放射性同位素和射线装置应用项目					
建设单位		南充市中心医院					
法人代表		***	联系人	***	联系电话	***	
注册地址		四川省南充市顺庆区人民南路 97 号					
项目建设地点		四川省南充市高坪区庙儿嘴村 3 组 44 号南充市中心医院江东院区（下中坝院区）					
立项审批部门		/			批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		***	项目环保投资（万元）		394.75	投资比例	1.97%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它				占地面积 m ²	2000
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类				
		☒ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☒ III 类 ☐ IV 类 ☒ V 类				
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物				
		☐ 销售	/				
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙				
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类				
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类				
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类				
	其他	无					
	项目概述 一、企业概况及项目由来 南充市中心医院（统一社会信用代码：12511100452183688D）由原国家副主席张澜先生于 1937 年创建，现为集医疗、急救、科研教学、康复保健为一体的国家三级甲等综合医院，是国家卫健委临床药师培训基地、全国脑卒中筛查基地、全国健康管理示范基地、国际爱婴医院、中国航天员救治医院。医疗服务辐射南充、广安、遂宁、巴中、达州、广元等周边地区 3000 多万人口。 医院除本部外还包括了嘉陵院区及江东院区（下中坝院区）（简称“下中坝院区”），						

现有在职职工 2700 余人，占地 373 亩(含在建的下中坝院区 216 亩)，编制床位 2800 张(含在建的下中坝院区 1500 张)，开放床位 2200 张，临床科室 35 个，医技科室 11 个，拥有直线加速器 Synergy、双源 CT 等价值 4 亿多元的医疗设备。2019 年，门诊 167 万人次，住院患者 8.9 万人次，手术 5.1 万台次。

南充市中心医院下中坝院区由南充市中心医院和南充市人民防空办公室共同建设，自 2018 年 9 月 5 日起正式启动建设，预计 2021 年上半年投入运行。该院区位于高坪区下中坝，毗邻南充金融中心，占地面积 216 亩，建筑面积 24.5 万平方米（其中人防医院 4.85 万平方米）。医院下中坝院区编制床位 1500 张，按照国家三级甲等综合医院标准设计。医院下中坝院区作为南充市十大重点项目之一，是全市人民的“健康工程”和“民心工程”，也是全市完善医疗资源布局和推进优质医疗资源拓展的重要工程。

（一）任务由来

南充市中心医院下中坝院区已取得原四川省环境保护厅《关于南充市中心医院下中坝院区建设项目环境影响报告书的批复》川环审批[2012]725 号（具体见附件 8）。

医院拟在第二住院楼 1 层放疗中心使用 3 台 15MV 医用直线加速器（II 类射线装置），使用 1 台 ^{192}Ir 后装机（1 枚，活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，III 类放射源）；拟在第二住院楼 1 层核医学科使用放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 进行 SPECT-CT 影像诊断，使用放射性同位素 ^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{68}Ga 进行 PET-CT 影像诊断，并新引进 SPECT-CT 和 PET-CT 设备各 1 台（SPECT-CT 和 PET-CT 均为 III 类射线装置），核医学科工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所；拟使用 ^{90}Sr - ^{90}Y （1 枚，活度为 $1.48\times 10^9\text{Bq}$ ，V 类放射源）进行敷贴治疗。

医院拟在急诊楼 3 层及门诊医技楼 4 层介入诊疗科使用 3 台数字减影血管造影机（DSA，II 类射线装置）；拟在第三住院楼 1 层消化病中心使用 1 台 C 型臂 X 射线机（II 类射线装置）。

南充市中心医院已取得辐射安全许可证，其许可证证书编号为川环辐证[00227]号，许可的种类和范围为：使用 III 类放射源，使用 II、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所；发证日期：2019 年 6 月 3 日，有效期至 2024 年 6 月 2 日。具体情况见本报告原有污染情况说明。

（二）编制目的

按照《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素和射线装置安全和防护条例》（国务院令449号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环保部令第18号）的规定和要求，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（国家环保部44号令）及《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》（生态环境部1号令，2018年4月28日实施）中“五十、核与辐射”第191条“核技术利用建设项目”中“使用Ⅲ类放射源的，使用Ⅱ类射线装置的，乙级非密封放射性物质工作场所”的规定，本项目应编制环境影响报告表，报四川省生态环境厅审查批准。南充市生态环境局针对本项目提出环评执行标准（具体见附件2）。

南充市中心医院委托四川省中栎环保科技有限公司编制该项目的环境影响报告表（委托书见附件1）。四川省中栎环保科技有限公司接受本项目环境报告表编制工作的委托后，在进行现场踏勘、实地调查了解项目所在地环境条件和充分研读相关法律法规、规章制度、技术资料后，在项目区域环境质量现状评价的基础上，对项目的环境影响进行了预测，并按相应标准进行评价。同时，对项目对环境可能造成的影响、项目单位从事相应辐射活动的能力、拟采取的辐射安全和防护措施及相关管理制度等进行了评价分析，在此基础上提出合理可行的对策和建议，编制完成本报告表。

二、产业政策符合性

本项目系核和辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据《国家发展改革委关于修改<产业结构调整指导目录（2019年本）有关条款的决定>的相关规定，本项目属第一类鼓励类项目的第六项“核能”第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。本项目的运营可为南充市及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全市医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射性实践的正当性。

三、本项目建设内容

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：江东院区（下中坝院区）新增放射性同位素和射线装置应用项目

建设性质：新建

建设地点：四川省南充市高坪区庙儿嘴村3组44号南充市中心医院下中坝院区

（二）建设内容与规模

本项目建设内容及规模综述为：

（1）放疗中心：拟在第二住院楼 1 层放疗中心使用 3 台 15MV 医用直线加速器，属 II 类射线装置；拟在第二住院楼 1 层放疗中心使用 1 台后装机，使用 ^{192}Ir 放射源 1 枚，活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属 III 类放射源；

（2）核医学科：拟在第二住院楼 1 层核医学科使用放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 进行 SPECT-CT 影像诊断，使用放射性同位素 ^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{68}Ga 进行 PET-CT 影像诊断，并新引进 SPECT-CT 和 PET-CT 设备各 1 台，SPECT-CT 和 PET-CT 均为 III 类射线装置，PET-CT 使用 1 枚 ^{68}Ge 校准源，活度为 $7.4 \times 10^7\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源，核医学科工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所；拟使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 进行敷贴治疗。

（3）介入诊疗科：拟在急诊楼 3 层新增使用 2 台数字减影血管造影机（DSA）、门诊医技楼 4 层介入诊疗科新增使用 1 台数字减影血管造影机（DSA），均属 II 类射线装置。

（4）消化病中心：拟在第三住院楼 1 层消化病中心使用 1 台 C 型臂 X 射线机，属 II 类射线装置。

本项目建设内容及规模详述为：

1、放疗中心

（1）拟在第二住院楼 1 层 1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室内分别新增使用 1 台 15MV 直线加速器（属 II 类射线装置，型号待定），用于全身肿瘤诊疗。医用直线加速器治疗时 X 射线最大能量为 15MV，1m 处剂量率为 24Gy/min ；电子束最大能量为 22MeV，1m 处剂量率为 10Gy/min ；年曝光时间均为 700h。

1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室净空面积均为 56m^2 ，其东侧均设有水冷机房（净空面积均为 23.52m^2 ）、控制室（净空面积均为 38.4m^2 ）。1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室结构均为钢筋混凝土，布局和厚度均相同，加速器主射方向均朝向北侧、南侧、顶部、底部。加速器治疗室东侧设有“L”型迷道，迷道内墙厚 1500mm，外墙厚 1300mm；北侧主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；南侧主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；西侧墙厚 1800mm；顶部主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；底部主屏

蔽墙厚3000mm、宽4000mm，次屏蔽墙厚1800mm；防护门为17mm 铅当量+100mm 含硼聚乙烯单扇电动推拉门。

(3) 拟在第二住院楼1层后装治疗室（净空面积23m²）新增使用1台¹⁹²Ir 后装机，后装机使用1枚¹⁹²Ir 放射源，额定装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ （属 III 类放射源），年出束时间约150h。后装治疗室北侧设有准备室（净空面积19.84m²）、控制室（净空面积26m²）。后装机治疗室四面墙体、迷道和顶部均为钢筋混凝土，其西侧“L”型迷道内墙和外墙厚分别为500mm、800mm，东侧墙体、南侧墙体、北侧墙体和顶部厚均为800mm，防护门为8mm 铅当量单扇电动推拉门。

2、核医学科

本项目核医学科工作场所位于第二住院楼1层，占地面积约864.3m²，设有 PET-CT 扫描室、SPECT-CT 扫描室、SPECT-CT 注射/给药区、控制室1、控制室2、分装室、缓冲室、SPECT-CT 留观室、PET-CT 留观室、PET-CT 注射区、放射性废物暂存室、储源室、PET-CT 候诊室、VIP 候诊室、SPECT-CT 候诊室等。放射性废水衰变池位于第二住院楼负一层。

在 PET-CT 扫描室内使用 1 台 PET-CT（型号待定），属于 III 类射线装置。PET-CT 检查显像剂使用放射性同位素 ¹⁸F、¹¹C 和 ⁶⁸Ga，其中 ¹⁸F 年用量为 $1.85\times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $6.29\times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $6.29\times 10^6\text{Bq}$ ；¹¹C 年用量为 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $1.26\times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.26\times 10^7\text{Bq}$ ；⁶⁸Ga 年用量为 $1.11\times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $3.7\times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7\times 10^6\text{Bq}$ 。PET-CT 设备使用 1 枚 ⁶⁸Ge 校准源，活度为 $7.4\times 10^7\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。

在 SPECT-CT 扫描室内使用 1 台 SPECT-CT（型号待定），属于 III 类射线装置。SPECT-CT 检查显像剂使用放射性同位素 ^{99m}Tc 和 ¹³¹I，其中 ^{99m}Tc 年用量为 $1.11\times 10^{13}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7\times 10^7\text{Bq}$ ；¹³¹I 年用量为 $1.85\times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $6.29\times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $6.29\times 10^8\text{Bq}$ 。

在敷贴治疗室内使用 ⁹⁰Sr-⁹⁰Y 进行敷贴治疗，⁹⁰Sr-⁹⁰Y 的活度为 $1.48\times 10^9\text{Bq}$ （40mCi），属于 V 类放射源。药物自动分装柜使用 ⁵⁷Co 和 ¹³⁷Cs 进行校准，其中 ⁵⁷Co 的活度为 $1.11\times 10^7\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源；¹³⁷Cs 的活度为 $5.55\times 10^6\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。

核医学科工作场所日等效最大操作量为 $6.886 \times 10^8 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）规定，核医学科工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

各场所实体防护如下所述：

①SPECT-CT 注射/给药区北侧、西侧、东侧墙体为 200mm 钢筋混凝土，南侧墙体为 240mm 钢筋混凝土，顶部和底部采用 250mm 钢筋混凝土，北侧防护门采用 5mm 铅当量。

②SPECT-CT 扫描室北侧和南侧墙体为 250mm 钢筋混凝土，东侧和西侧墙体为 250mm 钢筋混凝土，顶部和底部采用 250mm 钢筋混凝土，西侧防护门和观察窗为 4mm 铅当量，南侧防护门为 7mm 铅当量。

③SPECT-CT 留观室北侧为 250mm 钢筋混凝土，西侧为 370mm 钢筋混凝土，南侧墙体为 210mm 钢筋混凝土，东侧墙体为 180mm 钢筋混凝土，顶部采用 250mm 钢筋混凝土，西侧、东侧防护门为 12mm 铅当量。

④SPECT-CT 候诊室西侧、南侧为 210mm 钢筋混凝土，北侧为 250mm 钢筋混凝土，东侧为 370mm 钢筋混凝土，顶部和底部采用 250mm 钢筋混凝土，北侧防护门为 7mm 铅当量，南侧防护门为 5mm 铅当量。

⑤PET-CT 扫描室东侧、西侧、南侧、北侧墙体为 250mm 钢筋混凝土，顶部、底部采用 250mm 钢筋混凝土，北侧防护门为 4mm 铅当量，西侧防护门和观察窗均为 8mm 铅当量。

⑥PET-CT 留观室北侧墙体为 210mm 钢筋混凝土，西侧墙体为 200mm 钢筋混凝土，南侧墙体为 240mm 钢筋混凝土，东侧墙体为 260mm 钢筋混凝土，顶部和底部为 250mm 钢筋混凝土。

⑦候诊室和 VIP 候诊室北侧、西侧、东侧墙体为 240mm 钢筋混凝土，南侧墙体为 100mm 钢筋混凝土，南侧防护门为 3mm 铅当量，顶部和底部为 250mm 钢筋混凝土。

⑧储源室北侧、南侧、西侧墙体为 240mm 钢筋混凝土，东侧墙体为 180mm 钢筋混凝土，东侧防护门为 4mm 铅当量，西侧传递窗为 7mm 铅当量；分装室西侧墙体为 180mm 钢筋混凝土，北侧、南侧、东侧墙体为 240mm 钢筋混凝土，西侧防护门为 4mm 铅当量，北侧防护门为 5mm 铅当量，注射窗口为 20mm 铅当量铅玻璃；放射性废物

暂存室北侧墙体为 240mm 钢筋混凝土，西侧和南侧墙体为 200mm 钢筋混凝土，东侧墙体为 180mm 钢筋混凝土，南侧防护门为 4mm 铅当量；储源室、分装室、放射性废物暂存室顶部和底部为 250mm 钢筋混凝土。

3、介入诊疗科

拟在急诊楼 3 层 1#DSA 介入室和 2#DSA 介入室内分别新增使用 1 台 DSA（属 II 类射线装置，型号待定）；拟在门诊医技楼 4 层 6 号杂交手术室新增使用 1 台 DSA（属 II 类射线装置，型号待定）。DSA 额定电压均为 125kV，额定电流为 1000mA。每台 DSA 进行介入手术治疗的工作负荷约 300 人次/年，拍片 2.5h、透视 50h；单台手术最长出束时间 10min；出束方向：由下而上。

1#DSA 介入室、2#DSA 介入室面积分别为 87m²、70m²，1#DSA 介入室南侧设有洁净走廊和缓冲间，2#DSA 介入室北侧设有污物间和暂存间，1#DSA 介入室和 2#DSA 介入室共用控制室和设备间。1#DSA 介入室、2#DSA 介入室四周墙体为轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板，屋顶为 120mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量的铅板，底部为 240mm 钢筋混凝土，观察窗为 3mm 铅当量的铅玻璃，防护门为 3mm 铅当量。

6 号杂交手术室面积为 76m²，西侧设有控制室，东侧设有设备间、体外循环室。6 号杂交手术室四周墙体为轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板，屋顶为 120mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料，底部为 200mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料，观察窗为 3mm 铅当量的铅玻璃，防护门为 3mm 铅当量。

4、消化病中心

拟在第三住院楼 1 层 ERCP 室内新增使用 1 台 C 型臂 X 射线机（用于内镜逆行胰胆管造影，属 II 类射线装置，型号待定），额定电压为 125kV，额定电流为 1000mA。C 型臂 X 射线机用于介入治疗的工作负荷约 300 人次/年，拍片 2.5h、透视 50h；单台手术最长出束时间 10min；出束方向：由下而上。

ERCP 室面积为 65.6m²，北侧设有控制室。ERCP 室四周墙体为 370mm 实心砖，屋顶为 160mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料，底部为 200mm 钢筋混凝土，观察窗为 3mm 铅当量的铅玻璃，防护门为 3mm 铅当量。

建设项目组成及主要的环境问题见表 1。

表 1-1 建设项目组成及主要的环境问题表

名称	科室	场所	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
					施工期	营运期
主体工程	放疗中心	直线加速器机房	设备、数量	15MV 直线加速器 3 台	噪声、扬尘、固体废物已在《南充市中心医院下中坝院区建设项目环境影响报告书》（川环审批[2012]725号）中进行了评价	X 射线、电子线、中子、感生放射性、臭氧、噪声
			设备型号	待定		
			管理类别	II类		
			使用场所	在第二住院楼 1 层 1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室内		
			年曝光时间	700h/台		
			1m 处剂量率	X 射线 1m 处剂量率为 24Gy/min		
				电子束 1m 处剂量率为 10Gy/min		
			主射方向	主射方向朝向北侧、南侧、顶部、底部		
		后装机房	放射源数量	1 枚 ^{192}Ir 放射源		γ 射线、臭氧、噪声、废放射源
			放射源活度	$3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$		
			放射源种类	III 类源		
主体工程	核医学科	核素	^{18}F	年用量为 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $6.29 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $6.29 \times 10^6\text{Bq}$		γ/β 射线、X 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、废放射源
			^{11}C	年用量为 $3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $1.26 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.26 \times 10^7\text{Bq}$		
			^{68}Ga	年用量为 $1.11 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $3.7 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^6\text{Bq}$		
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	年用量为 $1.11 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^7\text{Bq}$		
			^{131}I	年用量为 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $6.29 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $6.29 \times 10^8\text{Bq}$		
		密封源	$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 进行敷贴治疗， $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 的活度为 $1.48 \times 10^9\text{Bq}$ （40mCi），属于 V 类放射源		
			^{68}Ge	对 PET-CT 进行校准，活度为 $7.4 \times 10^7\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源		
			^{57}Co	药物自动分装柜进行校准， ^{57}Co 的活度为 $1.11 \times 10^7\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源		

			¹³⁷ Cs	药物自动分装柜进行校准， ¹³⁷ Cs 的活度为 5.55×10 ⁶ Bq，属于 V 类放射源		X 射线、臭氧、噪声、医疗废物		
		射线装置	1 台 PET-CT 和 1 台 SPECT-CT，均属于Ⅲ类射线装置					
		非密封放射性物质工作场所	设有 PET-CT 扫描室、SPECT-CT 扫描室、SPECT-CT 注射/给药区、控制室 1、控制室 2、分装室、缓冲室、SPECT-CT 留观室、PET-CT 留观室、放射性废物暂存室、储源室、PET-CT 候诊室、VIP 候诊室、SPECT-CT 候诊室等					
	介入诊疗科	DSA	设备、数量	3 台 DSA				
			设备型号	待定				
			管理类别	Ⅱ类				
			使用场所	急诊楼 3 层 1#DSA 介入室和 2#DSA 介入室；门诊医技楼 4 层 6 号杂交手术室				
			年曝光时间	拍片 2.5h、透视 50h				
			电压、电流	125kV/1000mA				
	消化病中心	C 型臂 X 射线机	设备、数量	1 台 DSA				
			设备型号	待定				
			管理类别	Ⅱ类				
			使用场所	第三住院楼 1 层 ERCP 室				
			年曝光时间	拍片 2.5h、透视 50h				
			电压、电流	125kV/1000mA				
	辅助工程	控制室、水冷机房、污物间、暂存间、设备间等					生活垃圾、生活污水	
	公用工程	卫生间、过厅、过道					生活垃圾、生活污水	
		市政水网、市政电网、配电系统、废水处理站、通排风系统（中央空调）					—	
	办公及生活设施	拟建医生办公室、公共卫生间、衰变池、污水处理站、医疗废物收集及暂存库等					生活垃圾、生活污水	
环保工程	废水处理依托医院污水管道和污水处理站，医疗废物依托医院医废暂存间及收集系统进行回收处理，办公、生活垃圾依托医院收集系统进行回收处理					生活垃圾、生活污水		

(三) 本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-2。

表 1-2 主要原辅材料及能耗情况表

类别	名称	使用量	来源	主要化学成分
主要原辅材料	^{99m}Tc	年用量 $1.11 \times 10^{13}\text{Bq}$	外购	$\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$
	^{131}I	年用量 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$	外购	Na^{131}I
	^{18}F	年用量 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$	外购	-
	^{11}C	年用量 $3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$	外购	-
	^{68}Ga	年用量 $1.11 \times 10^{12}\text{Bq}$	外购	-
	^{90}Sr - ^{90}Y	1 枚, 活度 $1.48 \times 10^9\text{Bq}$ (V 类放射源)	原子高科公司购买	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 敷贴器
	^{192}Ir 放射源	1 枚, $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ (III类放射源)	-	-
	^{68}Ge 校正源	$7.4 \times 10^7\text{Bq}$ (V 类放射源)	PET/CT 设备自带	-
	^{57}Co 校正源	$1.11 \times 10^7\text{Bq}$ (V 类放射源)	分装设备自带	-
	^{137}Cs 校正源	$5.55 \times 10^6\text{Bq}$ (V 类放射源)	分装设备自带	-
	造影剂	50000ml	外购	碘制剂
能源	煤 (T)	-	-	-
	电(度)	100000 度	市政电网	-
	气(Nm^3)	-	-	-
水量	地表水	1000m^3	-	-
	地下水	-	-	-

(四) 本项目所涉及的医用射线装置

本项目涉及医用射线装置的情况见表 1-3。

表 1-3 本项目射线装置清单表

序号	装置名称	型号	生产厂家	设备参数	管理类别	年曝光时间	使用场所	备注
1	直线加速器	待定	待定	X 射线 15MV 电子束 22MeV	II 类	700h	在下中坝院区第二住院楼 1 层 1#加速器治疗室内	拟购
2	直线加速器	待定	待定	X 射线 15MV 电子束 22MeV	II 类	700h	在下中坝院区第二住院楼 2#加速器治疗室	拟购
3	直线加速器	待定	待定	X 射线 15MV 电子束 22MeV	II 类	700h	在下中坝院区第二住院楼 1 层 3#加速器治疗室内	拟购
4	PET-CT	待定	待定	140kV 715mA	III 类	100h	下中坝院区第二住院楼 1 层 PET-CT 扫描室	拟购
5	SPECT-CT	待定	待定	140kV 715mA	III 类	100h	下中坝院区第二住院楼 1 层 SPECT-CT 扫描室	拟购
6	DSA	待定	待定	125kV 1000mA	II 类	52.5h	下中坝院区急诊楼 3 层 1#DSA 介入室内	拟购
7	DSA	待定	待定	125kV 1000mA	II 类	52.5h	下中坝院区急诊楼 3 层 2#DSA 介入室内	拟购

8	DSA	待定	待定	125kV 1000mA	II 类	52.5h	下中坝院区门诊医技楼 4 层 6 号杂交手术室	拟购
9	C 型臂 X 射线 机（中 C）	待定	待定	125kV 1000mA	II 类	52.5h	下中坝院区第三住院楼 1 层 ERCP 室	拟购

（五）本项目医用核素及使用情况一览表

本项目使用医用核素及其特性见表 1-4、1-5、1-6：

表 1-4 本项目涉及核素特性表

使用核素	半衰期	毒性分组	辐射类型	辐射最大能量	医学应用
^{99m}Tc	6.02h	低毒	γ 射线	$E_{\gamma}=0.140\text{MeV}$	医学显像检查
^{131}I	8.05d	中毒	β 射线 γ 射线	$E_{\beta}=0.610\text{MeV}$ $E_{\gamma}=0.364\text{MeV}$	医学显像检查
^{18}F	1.83h	低毒	γ 射线	$E_{\gamma}=0.511\text{MeV}$	医学显像检查
^{11}C	20.4min	低毒	γ 射线	$E_{\gamma}=0.511\text{MeV}$	医学显像检查
^{68}Ga	1.13h	低毒	γ 射线	$E_{\gamma}=0.511\text{MeV}$	医学显像检查

表 1-5 本项目使用核素诊疗用药情况表

使用核素	物理状态	每天最多治疗人数	每人最大用药量（Bq）	日实际最大使用量（Bq）	每年最大诊疗人数	年最大使用量（Bq）	给药方式
^{99m}Tc	液体	50	7.4×10^8	3.7×10^{10}	15000	1.11×10^{13}	注射
^{131}I	液体	34	1.85×10^8	6.29×10^9	10000	1.85×10^{12}	口服
^{18}F	液体	17	3.7×10^8	6.29×10^9	5000	1.85×10^{12}	注射
^{11}C	液体	17	7.4×10^8	1.26×10^{10}	5000	3.7×10^{12}	注射
^{68}Ga	液体	5	7.4×10^8	3.7×10^9	1500	1.11×10^{12}	注射

表 1-6 放射源基本参数情况表

放射源种类	装源活度	放射源类别	放射源数量	半衰期	辐射类型	辐射最大能量
^{192}Ir	$3.7\times 10^{11}\text{Bq}$	III 类	1 枚	74.2d	β 射线 γ 射线	$E_{\beta}=0.675\text{MeV}$ $E_{\gamma}=0.468\text{MeV}$
^{68}Ge	$7.4\times 10^7\text{Bq}$	V 类	1 枚	29.1a	β 射线	$E_{\beta}=0.546\text{MeV}$
^{57}Co	$1.11\times 10^7\text{Bq}$	V 类	1 枚	271.8d	γ 射线	$E_{\gamma}=0.137\text{MeV}$
^{137}Cs	$5.55\times 10^6\text{Bq}$	V 类	1 枚	30.2a	β 射线 γ 射线	$E_{\beta}=0.512\text{MeV}$ $E_{\gamma}=0.662\text{MeV}$
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	$1.48\times 10^9\text{Bq}$	V 类	1 枚	28.1d	β 射线	$E_{\beta}=0.546\text{MeV}$

（六）本项目使用核素及工作场所分级

本项目使用的放射性同位素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{68}Ga 、 ^{99m}Tc 、 ^{131}I ，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，非密封放射性物质工作场所的分级判据如表 1-7。

表 1-7 非密封放射性物质工作场所的分级表

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日等效最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 1-8、表 1-9。

表 1-8 放射性核素毒性组别修正因子表

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 1-9 操作方式与放射源状态修正因子表

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体、溶液、 悬浮液	表面有污染的固 体	气体、蒸汽、粉末、压力 很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性物质工作场所应按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲、乙、丙三级，日等效操作量计算公式为：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}}$$

因此，根据本项目核医学科使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定本项目核医学科工作场所级别，具体见表 1-10。

表 1-10 工作场所使用核素及其级别表										
所在位 置	工作 场所	使用 核素 名称	日实际最 大操作量 (Bq)	毒性组别 及其修正 因子	操作方式及 其修正因子	日等效最大 操作量 (Bq)	合计日等效 最大操作量 (Bq)	工作场 所级别		
核医学 科工作 场所	分装室	^{99m} Tc	3.7×10 ¹⁰	低毒	很简单操作	3.7×10 ⁷	6.886×10 ⁸	乙级非 密封放 射性物 质工作 场所		
				0.01	10					
		¹³¹ I	6.29×10 ⁹	中毒	简单操作	6.29×10 ⁸				
				0.1	1					
		¹⁸ F	6.29×10 ⁹	低毒	很简单操作	6.29×10 ⁶				
				0.01	10					
		¹¹ C	1.26×10 ¹⁰	低毒	很简单操作	1.26×10 ⁷				
				0.01	10					
		⁶⁸ Ga	3.7×10 ⁹	低毒	很简单操作	3.7×10 ⁶				
				0.01	10					
		SPECT- CT注射 /给药区	^{99m} Tc	3.7×10 ¹⁰	低毒	很简单操作			3.7×10 ⁷	6.66×10 ⁸
					0.01	10				
	¹³¹ I		6.29×10 ⁹	中毒	简单操作	6.29×10 ⁸				
				0.1	1					
	PET-CT 注射区	¹⁸ F	6.29×10 ⁹	低毒	很简单操作	6.29×10 ⁶	2.259×10 ⁷			
				0.01	10					
		¹¹ C	1.26×10 ¹⁰	低毒	很简单操作	1.26×10 ⁷				
				0.01	10					
		⁶⁸ Ga	3.7×10 ⁹	低毒	很简单操作	3.7×10 ⁶				
				0.01	10					
	储源室	^{99m} Tc	3.7×10 ¹⁰	低毒	源的贮存	3.7×10 ⁶	1.225×10 ⁷			
				0.01	100					
		¹³¹ I	6.29×10 ⁹	中毒	源的贮存	6.29×10 ⁶				
				0.1	100					
		¹⁸ F	6.29×10 ⁹	低毒	源的贮存	6.29×10 ⁵				
				0.01	100					
		¹¹ C	1.26×10 ¹⁰	低毒	源的贮存	1.26×10 ⁶				
				0.01	100					
		⁶⁸ Ga	3.7×10 ⁹	低毒	源的贮存	3.7×10 ⁵				
				0.01	100					
	放射性 废物暂 存室	^{99m} Tc	3.7×10 ⁸	低毒	源的贮存	3.7×10 ⁵	1.225×10 ⁶			
				0.01	10					
		¹³¹ I	6.29×10 ⁷	中毒	源的贮存	6.29×10 ⁵				
				0.1	10					
		¹⁸ F	6.29×10 ⁷	低毒	源的贮存	6.29×10 ⁴				
				0.01	10					
		¹¹ C	1.26×10 ⁸	低毒	源的贮存	1.26×10 ⁵				

			0.01	10		
		⁶⁸ Ga	3.7×10 ⁷	低毒	源的贮存	
				0.01	10	3.7×10 ⁴

注：①根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）的有关规定医疗机构使用¹⁸F和^{99m}Tc相关活动均视为“很简单的操作”；②根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），上表中，放射性废物暂存间的状态属表面有污染的固体，其余场所源的状态均为液体。

由表 1-10 可知，根据相关要求，取单个场所日等效操作量的最大值作为整个核医学科的日等效最大操作量，则医院核医学科日等效最大操作量为 6.886×10⁸Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，参照Ⅱ类密封型放射源工作场所的相关要求，实施辐射安全管理。

（七）工作人员配置情况

医院人员配备情况如下表所示：

表 1-11 工作人员配置情况表

序号	科室	装置名称	人员构成
1	放疗中心	3台医用直线加速器，1台后装机	10名医师、8名技师、4名物理师、4名护士
2	核医学科	SPECT-CT、PET-CT、敷贴治疗	6名医师、4名技师、2名护士
3	介入诊疗科	3台DSA	9名医师、9名技师、9名护士
4	消化病中心	C型臂X射线机	3名医师、3名技师、3名护士
合计			74名

医院需配备辐射工作人员 74 名，由医院根据工作需要统一调剂。

工作制度：医院实行 8 小时工作制度，每年工作时间是 300 天，临床科室 24 小时轮流值班。医院定岗定则，不存在剂量叠加问题。

三、本项目外环境及总图布置合理性分析

（一）项目外环境及选址合理性分析

南充市中心医院下中坝院区用地性质为医疗卫生用地，已取得原四川省环境保护厅川环审批[2012]725 号文批复，南充市中心医院下中坝院区选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目仅为其中部分建设内容，不新增用地，且拟建的各辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求，从辐射安全防护的角

度分析，本项目选址是合理的。

南充市中心医院下中坝院区北侧紧邻城市道路、约 27m 为凤凰山家园小区；东侧紧邻鹤鸣路，约 60m 为王家店村村委会；南侧紧邻星河西路，约 50m 为 G42 沪蓉高速；西侧紧邻环湖东路，约 60m 为水体（待建湖）。

本项目地理位置图见附图 1，外环境关系图见附图 2。

（二）总平面布局合理性分析

医院下中坝院区由西向东呈平行的四列布局，第一列由北向南依次为第三住院楼、科研楼、后勤保障楼、地埋式污水处理站，第二列由北向南依次为住院主入口、门诊医技楼，第三列由北向南依次为第二住院楼、第一住院楼、急诊楼，第四列由北向南依次为高压氧仓、服务中心楼、预留发展用地。本项目放疗中心位于第二住院楼 1 层，核医学科位于第二住院楼 1 层，介入诊疗科位于急诊楼 3 层和门诊医技楼 4 层，消化病中心位于第三住院楼 1 层。各层平面布置如下所述：

1、第二住院楼 1 层（在建，地下 1 层，地上 17 层）

放疗中心位于第二住院楼 1 层南部，1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室、后装治疗室自西向东呈“一”字排开。治疗室北侧为 CT 室、控制室、MR 室、准备室、医生办公室等，南侧为绿化、院内道路、第一住院楼，西侧为门厅、登记室、护士站，东侧为绿化、院内道路、服务中心楼。楼下为地下车库，楼上为屋顶平台。

核医学科位于第二住院楼 1 层东部，北侧为消防通道、候诊室、空调机房，西侧为 CT 室、控制室、MR 室、准备室、医生办公室等，南侧为 3#加速器治疗室、控制室、水冷机房、准备室、后装治疗室，东侧为绿化、院内道路、服务中心楼。楼下为地下车库，楼上为屋顶平台。

2、急诊楼 3 层（在建，地下 1 层，地上 4 层）

1#DSA 介入室和 2#DSA 介入室位于急诊楼 3 层西部，西侧为绿化、院内道路，北侧为绿化、第一住院楼，南侧为卫生间、杂物间、办公室、值班室谈话间、医生通道、公共走道，东侧为谈话间、治疗室、缓冲室、ICU 室、处置室、卫生间、护士站。楼下为输液室，楼上为换药室、注射室、更衣室、穿刺室。

3、门诊医技楼 4 层（在建，地下 1 层，地上 4 层）

6 号杂交手术室位于门诊医技楼 4 层东部，北侧为普外手术室、腔镜手术室、镭

空区域，西侧为缓冲室、楼梯间、物品暂存室、设备及仪器间、洁净走廊，南侧为防辐射手术室、镂空区域，东侧为院内绿化、预留发展用地。楼下和楼上均为医生办公室。

4、第三住院楼 1 层（在建，地下 1 层，地上 17 层）

ERCP 室位于第三住院楼 1 层，北侧为无菌库房、复苏室、镜库、洗消间，西侧为麻醉评估室、麻醉库房、等候室、预约室，东侧为治疗室，南侧为院内绿化。楼上为肝胆外科超声介入室、超声谈话室、中控室，楼下为地下车库。

本项目各辐射工作场所设有专用的候诊区域，就诊通道，医生用房独立成区，病人、医生流线尽量互不交叉。医院总图布置时已考虑了项目特点和周围环境对本项目可能存在的影响，使各科室病人能够就近诊疗，这样既方便了诊疗，又使辐射工作场所相对集中，以便于医院对辐射工作场所的集中统一管理。因此，本评价认为本项目总平面布置是合理的。

医院总平面布置及外环境关系图见附图 2。

四、原有核技术利用情况

（一）医院原有项目辐射安全许可证情况

南充市中心医院已取得辐射安全许可证，其许可证证书编号为川环辐证[00227]号，许可的种类和范围为：使用 III 类放射源，使用 II、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所；发证日期：2019 年 6 月 3 日，有效期至 2024 年 6 月 2 日。具体许可项目见表 1-5、1-6、1-7。

表 1-5 医院已获许可使用的放射源表

工作场所	核素	类别	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数	是否环评	是否验收	是否登记上证
医院放疗科	^{192}Ir	III 类	$3.7\text{E}+11\text{Bq}/(3.7\text{E}+11\text{Bq}) \times 1$	是	是	是

表 1-6 医院已获许可使用的放射性同位素表

序号	工作场所	场所等级	核素	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	活动种类
1	核医学科	乙级	I-131	$1.295\text{E}+9$	$1.554\text{E}+12$	使用
2	核医学科	乙级	Sr-89	$4.44\text{E}+7$	$4.44\text{E}+10$	使用
3	核医学科	乙级	Tc-99m	$2.96\text{E}+8$	$1.42\text{E}+12$	使用
4	核医学科	乙级	I-125 粒籽	$7.4\text{E}+6$	$7.4\text{E}+11$	使用

表 1-7 医院已获许可使用的射线装置表					
序号	装置名称	规格型号	类别	场所	备注
1	放射治疗模拟机	SL-IE	III	放射治疗模拟定位室	登记上证在用
2	口腔全景/头颅 X 射线机	OC200D	III	门诊楼三楼口腔全景机照片室	
3	医用直线加速器	Clinac 600C	II	医用直线加速器治疗室	
4	移动式 C 臂 X 射线机	Ziehm Vision	II	河东分部一期住院大楼二楼消化内镜中心 ERCP 检查室	
5	数字血管平板造影机 (DSA)	Artis ZeeCeiling	II	内科楼一楼介入手术室 (2)	
6	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	SOMATOM Definition As	III	门诊楼一楼检查室 7	
7	X 射线诊断设备 (移动 DR)	MOBILETT XP Digital	III	门诊楼一楼发热门诊放射检查室	
8	移动式 C 型臂 X 射线机	WHA-200	III	外科十三楼手术间	
9	数字放射成像系统 (DR)	DR7500	III	影像楼 1 楼检查室 1	
10	数字乳腺 X 射线系统	Mammomat Inspiration	III	影像楼 1 楼检查室 2	
11	数字放射成像系统 (DR)	DR7500	III	影像楼 1 楼检查室 3	
12	数字胃肠机	AXIOM Leonos MD	III	影像楼 1 楼检查室 4	
13	X 射线诊断设备 (DR)	Kodak Direct View DR3500	III	影像楼 1 楼检查室 5	
14	X 射线血管造影系统 (DSA)	Aritis Zeego	II	河东分部一期住院大楼三楼 DSA 复合手术室	
15	移动式 C 型臂 X 射线机	Ziehm 8000	II	河东分部一期住院大楼三楼手术室手术间 (2)	
16	X 射线诊断系统 (数字胃肠机)	AXIOM Luminos dRF	III	河东分部一期住院大楼一楼胃肠检查室	
17	X 射线计算机体层摄影设备 (CT)	SOMATOM Definition Flash	III	河东分部一期住院大楼一楼平侧平房 CT 检查室	
18	移动式 C 型臂 X 射线机	Ziehm Vision FD Vario 3D	II	河东分部一期住院大楼三楼手术室手术间 (3)	
19	数字化医用 X 射线摄影系统	VX3733-SYS	III	河东分部一期住院大楼一楼 DR 检查室 (1)	
20	数字化医用 X 射线摄影系统	VX3733-SYS	III	河东分部一期住院大楼一楼 DR 检查室 (2)	
21	体外冲击波碎石机	HK.ESWL-VI	III	内科楼一楼体外冲击波碎石治疗室	
22	口腔颌面锥形束计算	CS 9300C	III	门诊楼三楼口腔颌面 CT 检查	

	机体层摄影设备 (OBCT)			室
23	数字减影血管造影机	Aritis one	II	河东分部第一住院大楼东区西侧导管室
24	单光子发射及 X 射线计算机断层成像系统	Discovery NM/CT670	III	核医学科检查室
25	全身 X 射线计算机断层扫描系统	Revolution CT	III	门诊楼一楼检查室 6
26	X 射线计算机体层摄影设备	Uct 550	III	河东分部第一住院大楼东区西侧检查室 1
27	牙科 X 射线机	RX DC Plus/I	III	门诊楼三楼口腔科牙片机照片室
28	X 射线计算机体层摄影设备	Uct 550	III	影像楼一楼检查室 5

据了解，南充市中心医院自取得辐射安全许可证以来，未发生过辐射事故，具体情况说明见附件 3。

(二) 辐射工作人员培训情况

南充市中心医院共有 160 名辐射工作人员，其中 152 名辐射工作人员参加了辐射安全和防护培训班的学习，并持证上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，辐射工作人员和辐射防护负责人均应参加辐射安全与防护知识的学习，医院应尽快安排其余人员在国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全与防护知识并通过考试；已取得辐射安全培训合格证的，合格证到期前，需进行再次考核。辐射安全与防护培训成绩合格单有效期为五年。辐射工作人员培训情况见附件 7。

(三) 开展辐射监测的情况

1、个人剂量检测

南充市中心医院所有辐射工作人员均佩戴了个人剂量计，每季度对个人剂量计进行检测，并按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案。

医院有专人负责个人剂量检测管理工作。发现个人剂量检测结果异常时，及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射防护领导小组。医院委托四川中环康源卫生技术服务有限公司完成医院所有辐射工作人员。对 2019 年 4 月 1 日~2020 年 3 月 31

日的个人剂量检测报告进行整理，整理结果如下：2019年4月1日~2019年6月30日，何藹因个人剂量计留置于机房内，导致读数异常；2019年7月1日~2019年9月30日，罗义、陈旭、张荣驿、林宏、林涛、苏明萍个人剂量计遗失，章家川和吴娟因个人剂量计留置于机房内，导致读数异常；2019年10月1日~2019年12月30日，陈雪倩、韦堂墙、王小艳、黄珊、姚艳豪、冯麟、蒲涛清、戈文、蔡宇个人剂量计遗失；2020年1月1日~2020年3月31日，邱爽、王娇、杨浩、黄珊、姚焰豪、黄艳、孙琦珺个人剂量计遗失，张入月因个人剂量计留置于机房内，导致读数异常。

医院应进一步加强个人剂量管理，加强人员的培训指导，并随时对个人剂量进行监控，对遗失个人剂量计的职业人员采取相应的处理措施。若医院未查找到个人剂量超过1.25mSv的原因，应将个人剂量计委托第三方进行校正检测。

2、工作场所辐射水平监测

根据环保部18号令和《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》的要求，南充市中心医院每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行监测。医用射线装置使用场所，主要针对射线装置机房周围（四周墙体、楼上和楼下、防护门和观察窗外）、控制室进行监测，南充市中心医院委托四川世阳卫生技术服务有限公司和广州职康防护技术服务有限公司开展了2019年年度辐射环境现状监测。根据监测报告，所有点位的X-γ射线空气吸收剂量率均满足医用射线装置使用场所周围辐射剂量率不大于2.5μSv/h的控制目标值。

五、环境影响评价报告信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，方便公众和其他组织机构获取生态环境主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公众参与公开力度，依据国家环境保护部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》的规定，结合四川省生态环境厅要求，建设单位在向生态环境主管部门提交建设项目环境影响报告表前，应依法主动公开建设项目环境影响报告表全本信息。

根据以上要求，建设单位南充市中心医院在医院网站上对该项目进行了公示。公示网址为：https://www.nc120.cn/nd.jsp?id=1210#_np=2_343l。

公示网站截图如下：

南充市中心医院江东院区（下中坝院区）新增放射性同位素和射线装置应用项目环境影响报告公示

发表时间：2020-09-11 17:44

0 0

在相关主管部门的大力支持以及环评单位、监测单位等各个部门的积极配合下，南充市中心医院《江东院区（下中坝院区）新增放射性同位素和射线装置应用项目环境影响报告表》的编制工作已基本完成。根据《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的规定，现将该项目环境影响报告表的送审件进行公示，望广大公众提出宝贵意见，以便报告表的进一步完善及项目的顺利开展。

任何单位或个人可于该公示发布之日起，7日内通过以下方式提出建议或意见。

建设单位：南充市中心医院

联系人：李老师

电话：0817-2228268

邮箱：766657716@qq.com

附件下载(1):

 江东院区（下中坝院区）新增放 射性同位素和射线装置应用项目 环境影响报告表.pdf 

分享到：



公示后，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ Bq/3.7×10 ¹¹ Bq×1	Ⅲ类	使用	用于后装机治疗源	第二住院楼 1 层后装治疗室	第二住院楼 1 层后装治疗室	拟购
2	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	1.48×10 ⁹ Bq/1.48×10 ⁹ Bq×1	V 类	使用	用于敷贴治疗	第二住院楼 1 层敷贴治疗室内	第二住院楼 1 层敷贴治疗室内	拟购
3	⁶⁸ Ge	7.4×10 ⁷ Bq×1	V 类	使用	用于 PET-CT 校准	第二住院楼 1 层 PET-CT 扫描室内	第二住院楼 1 层储源室内	拟购
4	⁵⁷ Co	1.11×10 ⁷ Bq×1	V 类	使用	用于药物自动分装柜校准	第二住院楼 1 层分装室内	第二住院楼 1 层分装室内	拟购
5	¹³⁷ Cs	5.55×10 ⁶ Bq×1	V 类	使用	用于药物自动分装柜校准	第二住院楼 1 层分装室内	第二住院楼 1 层分装室内	拟购

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m}Tc	液态针剂、半衰期 6.02h、低毒	使用	$3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$	$3.7 \times 10^7\text{Bq}$	$1.11 \times 10^{13}\text{Bq}$	用于心肌、骨、肾脏、内脏和甲状腺显像	湿法操作	第二住院楼 1 层分装室、SPECT-CT 注射/给药区	第二住院楼 1 层储源室
2	^{131}I	液态口服剂、半衰期 8d、中毒	使用	$6.29 \times 10^9\text{Bq}$	$6.29 \times 10^8\text{Bq}$	$1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$		湿法操作	第二住院楼 1 层分装室、SPECT-CT 注射/给药区	第二住院楼 1 层储源室
3	^{18}F	液态针剂、半衰期 1.83h, 低毒	使用	$6.29 \times 10^9\text{Bq}$	$6.29 \times 10^6\text{Bq}$	$1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$	用于肿瘤显像	湿法操作	第二住院楼 1 层分装室、PET-CT 注射区	第二住院楼 1 层分装室
4	^{11}C	液态针剂、半衰期 20min, 低毒	使用	$1.26 \times 10^{10}\text{Bq}$	$1.26 \times 10^7\text{Bq}$	$3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$	用于神经显像和心肌灌注显像、动物抗肿瘤显像与治疗科研项目	湿法操作	第二住院楼 1 层分装室、PET-CT 注射区	第二住院楼 1 层分装室
5	^{68}Ga	液态针剂、半衰期 1.13h, 低毒	使用	$3.7 \times 10^9\text{Bq}$	$3.7 \times 10^6\text{Bq}$	$1.11 \times 10^{12}\text{Bq}$	用于肿瘤显像	湿法操作	第二住院楼 1 层分装室、PET-CT 注射区	第二住院楼 1 层储源室

表 4 射线装置

（一）加速器，包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量	额定电流(mA)/ 剂量率(Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II 类射线装置	1	待定	电子	X 射线: 15MV 电子线: 22MeV	—	放射治疗	第二住院楼 1 层 1#加速器治疗室	拟购
2	医用直线加速器	II 类射线装置	1	待定	电子	X 射线: 15MV 电子线: 22MeV	—	放射治疗	第二住院楼 1 层 2#加速器治疗室	拟购
3	医用直线加速器	II 类射线装置	1	待定	电子	X 射线: 15MV 电子线: 22MeV	—	放射治疗	第二住院楼 1 层 3#加速器治疗室	拟购

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II 类	1	待定	125	1000	介入治疗	急诊楼 3 层 1#DSA 介入室	拟购
2	DSA	II 类	1	待定	125	1000	介入治疗	急诊楼 3 层 2#DSA 介入室	拟购
3	DSA	II 类	1	待定	125	1000	介入治疗	门诊医技楼 4 层 6 号杂交手术室	拟购
4	C 型臂 X 射线机	II 类	1	待定	125	1000	介入治疗	第三住院楼 1 层 ERCP 室	拟购
5	PET-CT	III 类	1	待定	140	715	显像诊断	第二住院楼 1 层 PET-CT 扫描室	拟购
6	SPECT-CT	III 类	1	待定	140	715	显像诊断	第二住院楼 1 层 SPECT-CT 扫描室	拟购

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μ A)	中子强 度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存 方式	数量	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科： 放射性废水	液体	49.5m ³ /10 个半衰期	总 α <1Bq/l、总 β <10Bq/l	放射性废水 衰变池暂存	贮存 10 个半衰期后， 经有资质单位监测后， 排入医院污水处理站
放疗中心： 退役 ¹⁹² Ir 放射源	固体	约半年更 换一次	—	后装治疗室 暂存	由源生产厂家回收
核医学科： 放射性废物	固体废物	100kg	<10 ⁴ Bq/kg	放射性废物 暂存间暂存	暂存 10 个半衰期，清 洁解控后作为普通医 疗废物处置。病号服、 被褥等重复清洗使用
	废弃 ⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga 发生器	每周更换 1 个	—	放射性废物 暂存间暂存	由生产厂家回收
	废弃 ⁹⁹ Mo- ^{99m} T c 发生器	每周更换 1 个	—	放射性废物 暂存间暂存	由生产厂家回收
	废弃 ⁹⁰ Sr 放射源	每月更换 1 个	—	放射性废物 暂存间暂存	由生产厂家回收
	废弃校准 源 ⁶⁸ Ge	2 年更换 1 次	—	一般不暂存， 更换新源时 由生产厂家 将旧源回收	由生产厂家回收
	废弃校准 源 ⁵⁷ Co	每年更换 1 次	—		
	废弃校准 源 ¹³⁷ Cs	每 5 年更 换 1 次	—		
	废活性炭	—	—	放射性废物 暂存间暂存	暂存，清洁解控后作为 普通医疗废物处置。
核医学科： 放射性废气	气体	少量	—	经过专用通 排风系统净 化过滤后稀 释排放	环境大气
放疗中心： 1#加速器治 疗室废气	O ₃	93.6mg/h	7.5×10 ⁻² mg/m ³	经过专用通 排风系统排 放	环境大气
放疗中心： 2#加速器治 疗室废气	O ₃	93.6mg/h	7.5×10 ⁻² mg/m ³	经过专用通 排风系统排 放	环境大气

放疗中心： 3#加速器治 疗室废气	O ₃	93.6mg/h	$7.5 \times 10^{-2} \text{mg/m}^3$	经过专用通 排风系统排 放	环境大气
放疗中心： 后装治疗室 废气	O ₃	0.108mg/h	$1.977 \times 10^{-4} \text{mg/m}^3$	经过专用通 排风系统排 放	环境大气
介入诊疗 科：1#DSA 介入室废气	O ₃	0.004mg/h	$2.52 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$	经过通排风 系统排放	环境大气
介入诊疗 科：2#DSA 介入室废气	O ₃	0.004mg/h	$3.13 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$	经过通排风 系统排放	环境大气
介入诊疗 科：3#DSA 介入室废气	O ₃	0.004mg/h	$2.89 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$	经过通排风 系统排放	环境大气
消化病中 心：ERCP 室废气	O ₃	0.004mg/h	$3.34 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$	经过通排风 系统排放	环境大气

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月 1 日实施)； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年 12 月 29 日第二次修订)； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 10 月 1 日实施)； (4) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日实施)； (5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(环境保护部令第 44 号)、《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》(生态环境部令第 1 号 2018 年 4 月 28 日实施) (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院第 449 号令)，根据 2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订； (7) 《四川省辐射污染防治条例》(四川省第十二届人民代表大会常务委员会公告第 63 号，2016 年 6 月 1 日实施)； (8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(中华人民共和国环境保护部令第 47 号，2017 年 12 月 25 日实施)； (9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起实施)； (10) 《射线装置分类办法》(环境保护部公告 2017 年第 66 号)； (11) 《放射源分类办法》(国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号)； (12) 《建设项目环境影响评价信息公开机制方案》(环发[2015]162 号)； (13) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(环发[2006]145 号，原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日)； (14) 《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》(环发[2012]77 号，环境保护部文件，2012 年 7 月 3 日)； (15) 《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有
------	--

	关事项的通知》（环办辐射函[2019]853 号）； （16）《关于贯彻落实 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（川环办函[2019]）507 号； （17）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（第十三届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议第二次修订，2020 年 9 月 1 日起实施）。
技术标准	（1）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容与格式》（HJ10.1-2016）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （3）《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）； （5）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）； （6）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）； （7）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）； （8）《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）； （9）《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）； （10）《放射性废物的分类》（公告，2017 年第 65 号）； （11）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； （12）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； （13）《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）； （14）《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2004）； （15）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （16）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （17）《电子辐射工程技术规范》（GB50752-2012）； （18）《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）； （19）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；

	(20) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)； (21) 《建设项目职业病危害放射防护评价规范 第2部分：放射治疗装置》(GBZ/T220.2-2009)； (23) 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599-2001)及 2013 年修改单； (24) 《危险废物污染贮存控制标准》(GB18597-2001)及 2013 年修改单。
其他	(1) 环评委托书； (2) 南充市生态环境局出具的环评执行标准(南市环建函[2020]1 号)； (3) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》(环保部，2012 年 3 月)； (4) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函[2016]1400 号)。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目放射性同位素、放射源及医用射线装置的特点和应用内容，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》

（HJ10.1-2006）要求，确定辐射环境影响评价的范围：以辐射工作场所建筑实体为边界，半径 50m 内区域作为评价范围。

保护目标

根据本项目确定的评价范围，环境保护目标主要是医院辐射工作人员和周围停留的公众，由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取离辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析，具体环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表（院内）

	位置	与辐射源 距离(m)	保护对象	人数/ 天	照射类型	剂量约束 值（mSv）
辐射环境	控制室、水冷机房（医用直线加速器 东侧）	5.2~50	职业人员	20	职业照射	5.0
	准备室、控制室（后装机北侧）	3.5~37.4	职业人员	6	职业照射	5.0
	门厅、放疗计价室、登记室（医用直 线加速器西侧）	5.5~47.0	公众	流动	公众照射	0.1
	档案室、值班室、主任办公室、缓冲 室、阅片室、卫生间、药房、CT 室、 MR 室、库房、模具制作室、维修工作 室、门厅（医用直线加速器北侧）	7.3~20.0	公众	流动	公众照射	0.1
	核医学科工作场所（后装机北侧）	7.0~25.0	公众	流动	公众照射	0.1
	服务中心楼（后装机东侧）	28.0~50.0	公众	流动	公众照射	0.1
	门诊医技楼（医用直线加速器西侧）	44.8	公众	流动	公众照射	0.1
	第一住院楼（医用直线加速器、后装 机南侧）	20.0	公众	流动	公众照射	0.1
	地下车库（医用直线加速器、后装机 楼下）	5.5~10.0	公众	流动	公众照射	0.1
	其它医疗相关用房（楼上 11 层）	5.5~50.0	公众	流动	公众照射	0.1
	核医学科工作区	0.3~0.5	职业人员	8	职业照射	5.0
	控制室（SPECT-CT 扫描室、PET-CT 扫描室西侧）	1.0	职业人员	4	职业照射	5.0
	控制室、准备室、后装治疗室、库房、 水冷机房、3#加速器治疗室（南侧）	3.0~18.0	公众	流动	公众照射	0.1
	档案室、值班室、主任办公室、缓冲	3.0~50.0	公众	流动	公众照射	0.1

	核 医 学 科	室、阅片室、卫生间、药房、CT室、MR室、库房、模具制作室、维修工作室、门厅（西侧）					
		停车场（北侧）	30.0~40.0	公众	流动	公众照射	0.1
		服务中心楼（东侧）	28.0~50.0	公众	流动	公众照射	0.1
		地下车库（楼下）	5.0~10.0	公众	流动	公众照射	0.1
		其它医疗相关用房（楼上11层）	5.5~50.0	公众	流动	公众照射	0.1
	介 入 诊 疗 科	1#DSA介入室、2#DSA介入室	0.3/1.0	职业人员	12	职业照射	5.0
		设备间、控制室、污物走廊	3.0-5.0	职业人员	6	职业照射	5.0
		洁净走廊、缓冲间、卫生间、杂物间、办公室、值班室、谈话间、医护通道、公共走廊（南侧）	4.0~6.0	公众	流动	公众照射	0.1
		ICU及其配套用房（东侧）	4.0~32.0	公众	流动	公众照射	0.1
		换药室、注射室、更衣室、穿刺室（楼上）	4.0~7.0	公众	流动	公众照射	0.1
		输液室（楼下）	4.0~7.0	公众	流动	公众照射	0.1
		6号杂交手术室	0.3/1.0	职业人员	6	职业照射	5.0
		控制室（西侧）	3.0-5.0	职业人员	3	职业照射	5.0
		普外手术室、腔镜手术室、镂空区域（北侧）	4.0~38.0	公众	流动	公众照射	0.1
		缓库房、复苏室、CCU工作区（西侧）	4.5~50.0	公众	流动	公众照射	0.1
		设备间、体外循环室、防辐射手术室、空调机房（东侧）	4.0~17.0	公众	流动	公众照射	0.1
		防辐射手术室、镂空区域、诊室、治疗室（南侧）	4.5~50.0	公众	流动	公众照射	0.1
		医生办公室及其它医疗相关用房（楼下）	4.0~20.0	公众	流动	公众照射	0.1
	消 化 病 中 心	ERCP室	0.3/1.0	职业人员	6	职业照射	5.0
		控制室（北侧）	3.0	职业人员	3	职业照射	5.0
		治疗室、无菌库房、镜库、医护通道、卫生间（北侧）	4.0~31.0	公众	流动	公众照射	0.1
		麻醉室、复苏室、胃肠镜室、配药室、术前准备室、库房、控制室、等候区、内镜室（西侧）	4.0~50.0	公众	流动	公众照射	0.1
		治疗室（东侧）	4.0~12.0	公众	流动	公众照射	0.1
		门诊医技楼（东侧）	30.0~50.0	公众	流动	公众照射	0.1
		科研楼（南侧）	45.0~50.0	公众	流动	公众照射	0.1
		肝胆外科超声介入室、超声谈话室、中控室及其它医疗相关用房（楼上3层）	4.0~15.0	公众	流动	公众照射	0.1
		停车库（楼下）	4.0	公众	流动	公众照射	0.1

评价标准

根据南充市生态环境局出具的《南充市中心医院江东院区（下中坝院区）新增放射性同位素和射线装置项目》（南市环建函[2020]1 号），本项目执行的标准如下：

一、剂量限值

1、职业人员和公众

职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.3.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv。本项目环评取上述标准中规定的职业照射年有效剂量限值的 1/4（即 5mSv/a）作为职业人员年剂量约束值；取四肢（手和足）或皮肤年当量剂量的 1/4（即 125mSv/a）作为职业人员四肢（手和足）或皮肤年当量剂量约束值。

公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。本项目环评取上述标准中规定的公众年有效剂量限值的 1/10（即 0.1mSv/a）作为公众的年剂量约束值。

2、接受核素治疗患者的陪护及探视人员

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定，对于明知会受到照射却自愿帮助护理、支持和探视、慰问正在接受医学诊断或治疗的患者的人员，其治疗期间的受照剂量应不超过 5mSv/a。探视患者的儿童所受剂量应限制于 1mSv/a 以下。

二、放射工作场所边界周围剂量率控制水平

1、放射治疗机房

参照《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011），加速器迷道门处、控制室和加速器机房墙体外 30cm 处，周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

2、X 射线诊断装置机房

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）有关规定，本项目 DSA、C 型臂 X 射线机、III 类医用射线装置使用场所在距离机房屏蔽体外表面 30cm 外，周围辐射剂量率应满足：控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h。

3、操作非密封放射性物质工作场所

核医学科诊断场所屏蔽结构外 30cm 处的辐射剂量率应不大于 2.5μSv/h。

4、后装机储源表面

参照《后装γ源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2017），后装治疗机贮源器内装载允许最大活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 50μGy/h，距离贮源器 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 5μGy/h。

三、放射性表面污染控制水平

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的有关规定，见表 7-2。

表 7-2 工作场所放射性表面污染控制水平表（Bq/cm²）

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹

四、放射性废水排放标准

《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）适用于医疗机构污水排放的控制，放射性废水衰变池排放口总β满足 10Bq/L。

五、放射性固体废物管理

本项目使用的非密封放射性物质，半衰期较短，可以将放射性废物收集暂存，待衰变时间超过所含半衰期最长核素的 10 个半衰期后，委托有资质单位进行监测，如果符合清洁解控水平（比活度小于或等于 1×10⁴Bq/kg），按医疗废物环境管理要求进行无害化处理，并报生态环境主管部门备案。

六、放射性废气排放管理

参照《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）第 4.5 款，操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般不小于 1m/s），排气口应高于本建筑，并设有活性炭过滤或其他专用过滤装置。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、本项目地理位置

本项目主要污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价没有对区域环境空气质量、地表水和地下水环境质量进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测及评价。

二、监测方法及仪器

为掌握项目所在地的辐射环境现状，本次评价过程中，四川省中栎环保科技有限公司委托四川省永坤环境监测有限公司对本次评价的辐射工作场所进行了现场监测，其监测项目、分析方法及来源见表 8-1。

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

项目	监测方法	方法来源	探测限	备注
环境γ辐射剂量率	环境地表γ辐射剂量率测定规范	GB/T 14583-93	1nSv/h	探测限为本次测量使用仪器的综合技术指标

监测使用仪器及环境条件见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备			使用环境
	名称及编号	技术指标	检定情况	
X-γ辐射剂量率	451P 型加压电离室 巡检仪 编号：YKJC/YQ-34	0.01μSv/h~500mSv/h 20keV~2.0MeV	检定/校准单位： 中国测试技术研究院 检定/校准有效期： 2020.07.19 至 2021.07.18	天气：晴 温度：16.5℃ 湿度：46.5%

三、质量保证

本项目环境现状监测单位四川省永坤环境监测有限公司，通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。

四川省永坤环境监测有限公司质量管理体系：

（1）计量认证

从事监测的单位四川省永坤环境监测有限公司通过了原四川省质量技术监督局的计量认证（计量认证号：182312050067），有效期至 2024 年 1 月 28 日。

（2）仪器设备管理

①管理与标准化；②计量器具的标准化；③计量器具、仪器设备的检定。

(3) 记录与报告

①数据记录制度；②报告质量控制。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考核合格持证上岗。

四、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家相关标准实施；测量不确定度符合统计学要求；布点合理、人员合格、结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。

具体监测结果如下所述：

表 8-3 拟建辐射工作场所及周围环境 γ 辐射剂量率 单位： $\mu\text{Sv/h}$

编号	γ 辐射剂量率		监测位置
	平均值	标准差	
1	0.08	0.007	第二住院楼 1 层 1#加速器治疗室
2	0.09	0.011	第二住院楼 1 层 2#加速器治疗室
3	0.07	0.008	第二住院楼 1 层 3#加速器治疗室
4	0.07	0.008	第二住院楼 1 层后装治疗室
5	0.09	0.011	第二住院楼 1 层 PET-CT 扫描室
6	0.07	0.013	第二住院楼 1 层 SPECT-CT 扫描室
7	0.08	0.008	第二住院楼 1 层分装室
8	0.08	0.016	急诊楼 3 层 1#DSA 介入室
9	0.08	0.011	急诊楼 3 层 2#DSA 介入室
10	0.07	0.011	门诊医技楼 4 层 6 号杂交手术室
11	0.07	0.011	第三住院楼 1 层 ERCP 室

根据监测报告数据，项目所在区域的 X- γ 辐射剂量率背景值为 $0.07\sim 0.09\mu\text{Sv/h}$ ，在普通生活环境状态下，辐射环境权重因子按 1 进行考虑，则 X- γ 辐射剂量率背景值为 $70\text{nGy/h}\sim 90\text{nGy/h}$ ，与《四川省生态环境状况公报 2019 年》中四川省电离辐射环境监测自动站测得的 γ 辐射空气吸收剂量率（ $76.8\text{nGy/h}\sim 163\text{nGy/h}$ ）处在同一水平，属于当地正常辐射水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

本项目辐射工作场所土建工程属于“南充市中心医院下中坝院区建设项目”的内容之一，其施工期环境影响包含在《南充市中心医院下中坝院区建设项目环境影响报告书》中，批复文号为川环审批[2012]725号。本项目非密封放射性物质工作场所和射线装置还需进行设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门及其他辐射防护设施安装，施工期将产生少量扬尘、噪声、生活污水及固体废物。施工期工艺流程及污染物产生环节见图9-1。

1、扬尘

由于本项目施工期工程量较小，在主体墙体粉刷后，设备安装及管线敷设过程中几乎不产生扬尘。

2、噪声

由于主体工程施工期间已预留有管线沟槽，仅设备安装过程中会产生一定噪声，但由于施工范围小，施工噪声对周围环境的影响较小。

3、固体废物

装修过程中产生的装修垃圾和施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。

4、废水

本项目施工期废水主要为施工人员的生活污水。

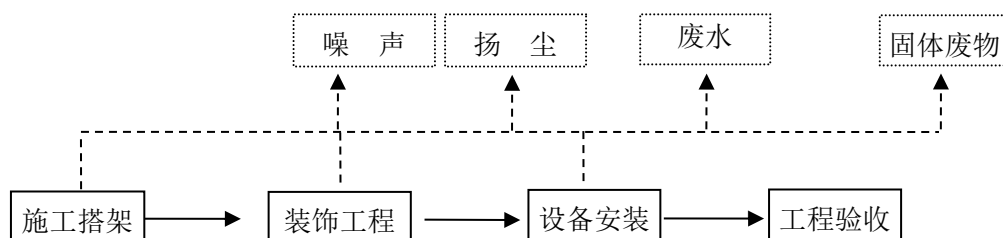


图 9-1 施工期工艺流程及污染物产生环节图

二、运营期

（一）射线装置污染源项分析

(1) 设备组成及工作原理

医用直线加速器的核心部位由电子枪、加速管和束流控制三个主要部分组成，由于医用直线加速器结构简单、造价低、不使用放射源，目前已成为医院放射治疗的主要手段。本项目医院拟购买 15MV 直线加速器 3 台，属Ⅱ类射线装置，医用电子直线加速器运行原理见图 9-2，医用电子直线加速器结构示意图见图 9-3，医用电子直线加速器参数见表 9-1。

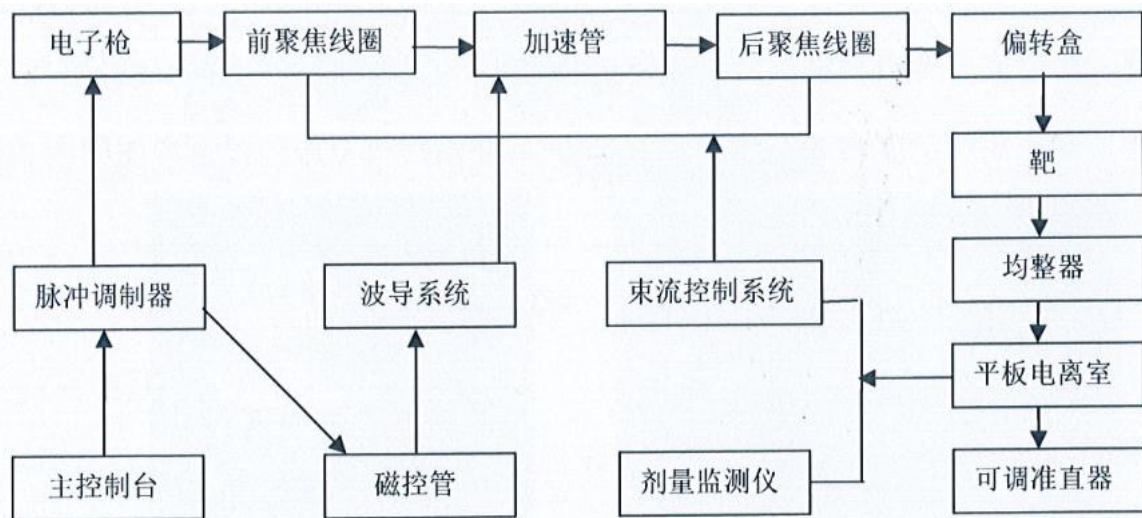


图 9-2 医用电子直线加速器运行原理图

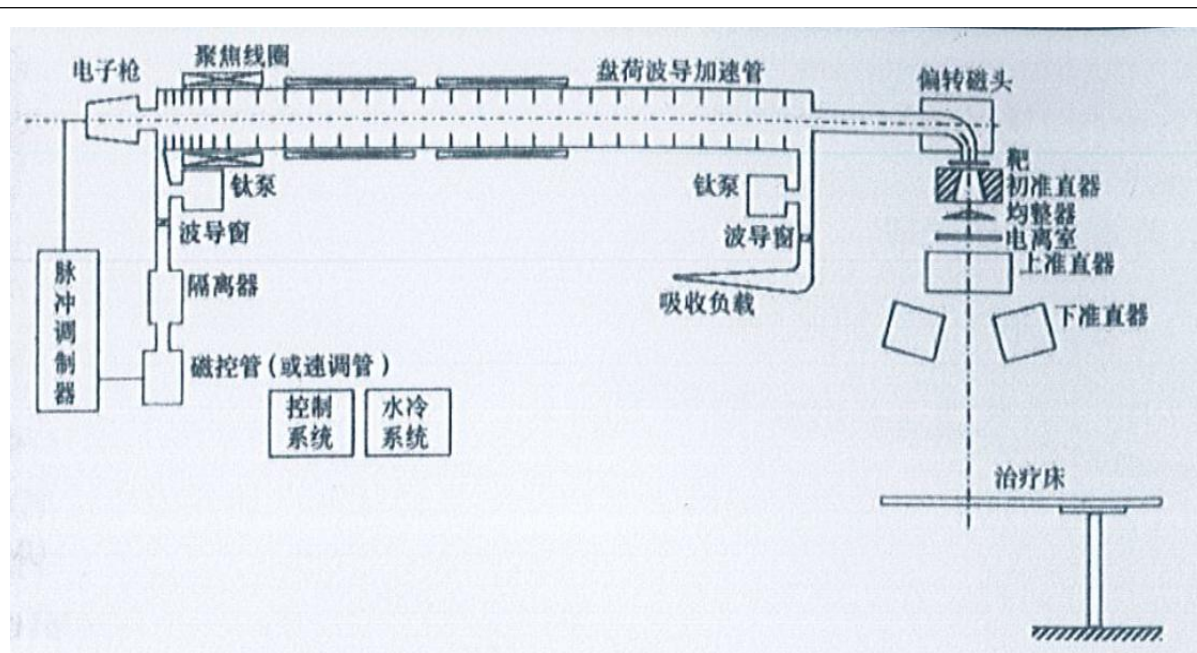


图 9-3 医用电子直线加速器结构示意图

表 9-1 15MV 医用直线加速器参数表

厂家、型号	待定
最大 X 射线能量	15MV
最大电子线能量	22MeV
X 射线泄漏率	≤ 0.001
X 射线 1m 处最大剂量率	24Gy/min
电子束 1m 处最大剂量率	10Gy/min
治疗角	0-360°
正常治疗距离	100cm
主射线最大出束角度	28°
等中心高度	1.29m
最大照射野 (SSD=1 米)	40 cm×40cm, 多叶准直器最小厚度不大于 5mm

(2) 项目流程及产污染环节

医用电子直线加速器治疗流程为：病人进行放射治疗的确诊并向患者告知可能受到辐射危害→职业人员佩戴个人剂量计，携带个人计量报警仪→模拟定位、进行体表标记→制定治疗计划、确定照射位置和剂量→病人进入加速器治疗室→关闭屏蔽门并开启安全联锁→加速器出束治疗、实施治疗→治疗完毕。本项目所使用的直线加速器治疗流程及产污位置见图 9-3。

通过分析可知，产污环节为：模拟定位时产生的 X 射线，加速器治疗过程中产生的 X 射线、电子线、中子、感生放射性、臭氧及风机、水冷机房产生的噪声。

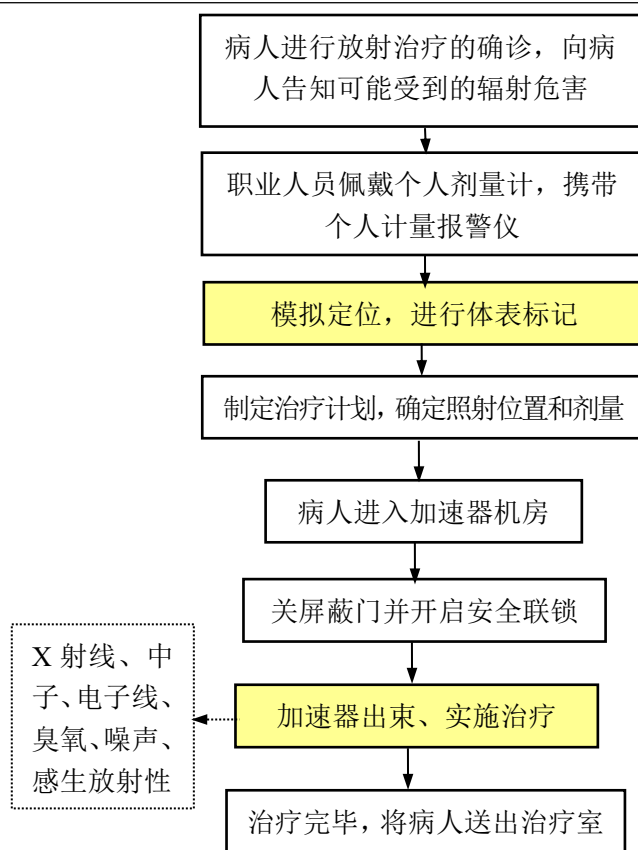


图 9-3 医用电子直线加速器治疗流程及产污环节示意图

(4) 工作负荷

根据医院提供的资料，每台设备每天治疗工作量为 60 人，每周 5d，每年工作 50 周，患者治疗照射出束时间为 2~3min，年治疗出束时间为 700h。医生对患者进行摆位的时间为 2min/人。

2、后装机工艺流程及产污环节分析

(1) 设备组成及工作原理

后装机主要由驱动装置、计算机、打印机、贮源室、治疗床、 γ 射线报警仪、施源器及其定位支架组成。后装机工作原理主要是预先在病人体内的自然腔、管道或组织的病灶需要治疗的部位正确地放置施源器，然后采用自动或手动控制将贮源器内的放射源输入到施源器内，使放射源发出的射线对人体自然腔、管道或组织的病灶进行治疗。

(2) 治疗流程

本项目后装机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，设计装源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{ Bq}$ ，属 III 类放射源。 ^{192}Ir 半衰期为 74.2 天，衰变过程会发出的 β 、 γ 射线；当放射源衰变至其活度不能满足

放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生退役后的废放射源。

本项目后装机治疗项目主要用于全身肿瘤的治疗，其主要治疗流程为接诊患者、告知辐射危害、安装输源管和施源器、模拟定位、制定治疗方案、仿真源模拟运行、真源照射治疗、治疗完毕收回放射源等，其主要流程与产污环节见图 9-4。

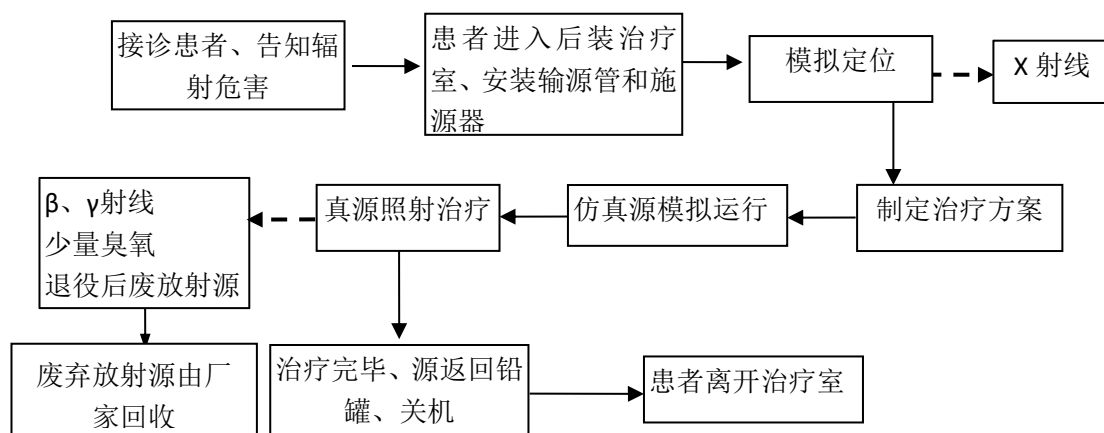


图 9-4 后装机治疗工艺流程及产污环节图

(3) 产污环节

通过分析可知，后装机治疗过程中真源照射治疗产生的β射线、γ射线、少量臭氧以及退役后的废放射源。

(4) 后装机换源过程介绍

医院购买的后装治疗设备首次导源由厂家负责。后期源的购买由医院申购，导源仍然由厂家后装机工程师负责，退役源由厂家回收处置。

根据 ^{192}Ir 放射源半衰期特点（74.6 d），医院放疗中心每年需要 2 枚铱源。医院报四川省生态环境厅备案后购买。铱源的生产、运输都由厂家负责。每次申购铱源后由厂家运输至后装治疗机房。当厂家工程师导源完毕后，将旧源回收。

3、数字减影血管造影装置（DSA）

本项目共使用3台数字减影血管造影装置（digital subtraction angiography, DSA），DSA 由 X 线系统、电子计算机系统、机械及附属设备共四个系统组成，用于病人检查和介入治疗。

(1) 设备组成

DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机和多幅照相机组成。

(2) 工作原理

设备是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数值相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。

设备是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数值相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

(3) 诊断流程简述

检查：手术医师接诊患者并告之在手术过程中可能收到辐射危害。患者被固定在检查床上，调整数字式平板探测器并对检查部位进行定位后，医师离开介入室，关闭防护门。分别对没有注入造影剂和注入造影剂的受检部位进行拍片，得到的两幅血管造影 X 线荧光图像经计算机剪影处理后，在计算机显示器上显示出血管影像的剪影图像。医师根据该图像确诊患者病变的范围、程度，选择治疗方案。

介入治疗：介入治疗采用近台同室操作方式。通过控制设备的 X 射线系统曝光，对患者的部位进行间歇式透视，具体方式是受检者位于手术床上，介入手术医师位于手术床旁，距设备的 X 射线管 0.3~1.0m 处，在非主射束方向上，配备各人防护用品（如铅衣、铅围脖、铅眼镜、铅手套等），同时手术床旁设有屏蔽挂帘和移动式防护帘。介入治疗中，医师根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动设备的 X 射线系统进行透视，通过悬挂显示屏上显示的连续画面，完成介入操作。

(4) 工作负荷

医院共使用 3 台 DSA，每台设备进行介入手术治疗的工作负荷约 300 人次/年，单次手术累计出束时间为 5~10min。射线装置的额定电压为 125kV，额定电流为 1000mA；拍片时射线装置的常用电压 80kV，常用电流为 500mA；透视时射线装置的常用电压 80kV，常用电流为 10mA。

(5) 产污环节

射线装置的 X 射线诊断机曝光时，出束方向朝上。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。射线装置诊治流程及产污环节如图 9-5 所示。

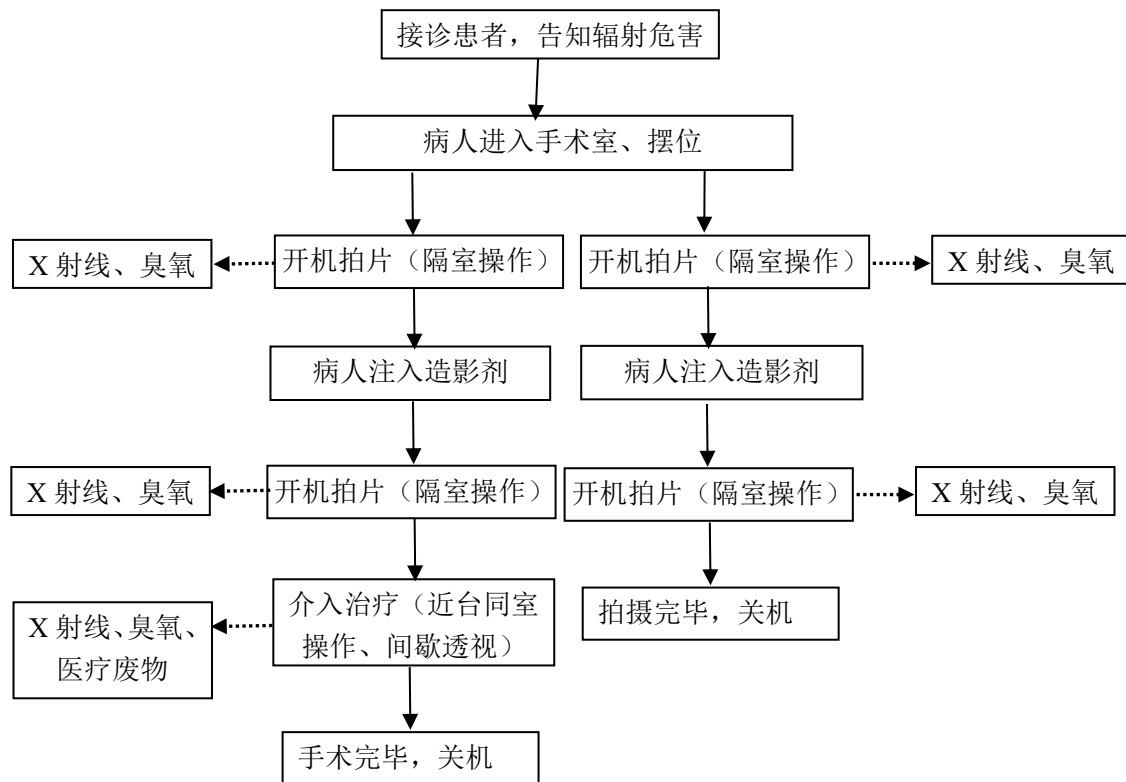


图9-5 射线装置检查与介入治疗流程及产污环节示意图

4、C 型臂 X 射线机（ERCP）

(1) 设备组成

ERCP 是经内镜逆行胰胆管造影的英文首写字母（EndoscopicRetrogradeCholangio-Pancreatography，ERCP）由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机组成。

(2) 工作原理

X 射线装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电

压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。

ERCP 是指将十二指肠镜插至十二指肠，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后 X 线摄片，以显示胰胆管的技术。

(3) 工作流程及产污节点分析

①接诊病人后，向病人告知可能受到的辐射危害；

②病人准备完毕进入机房摆位、固定，然后进入机房内对病人进行局部消毒处理和局部防护处理；

③医生进行插镜（十二指肠镜经口依次通过食管、胃、进入十二指肠降段，找到十二指肠乳头）、插管（将导管插入乳头），配合透视注入造影剂；

④完成造影剂注入后，医生退出机房，通过控制室操作台对病人进行拍片，得到病人病灶部位清晰影像资料；

⑤根据拍片结果，医生再次进入机房内配合内镜对病人病灶部位进行相应治疗。

医院使用 1 台 C 型臂 X 射线机，每台设备进行介入手术治疗的工作负荷约 300 人次/年，单次手术累计出束时间为 5~10min。射线装置的额定电压为 125kV，额定电流为 1000mA；拍片时射线装置的常用电压 80kV，常用电流为 500mA；透视时射线装置的常用电压 80kV，常用电流为 10mA。

(二) 核医学科诊断场所污染分析

PET-CT 检查显像剂使用放射性同位素 ^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{68}Ga ，其中 ^{18}F 年用量为 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $6.29 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $6.29 \times 10^6\text{Bq}$ ； ^{11}C 年用量为 $3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $1.26 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.26 \times 10^7\text{Bq}$ ； ^{68}Ga 年用量为 $1.11 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $3.7 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^6\text{Bq}$ 。PET-CT 设备使用 1 枚 ^{68}Ge 校准源，活度为 $7.4 \times 10^7\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。

SPECT-CT 检查显像剂使用放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I ，其中 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 年用量为 $1.11 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^7\text{Bq}$ ； ^{131}I 年用量为 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日实际最大使用量为 $6.29 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $6.29 \times 10^6\text{Bq}$ 。

在敷贴治疗室内使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 进行敷贴治疗， ^{90}Sr - ^{90}Y 的活度为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。药物自动分装柜使用 ^{57}Co 和 ^{137}Cs 进行校准，其中 ^{57}Co 的活度为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于 V 类放射源； ^{137}Cs 的活度为 $5.55 \times 10^6 \text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。

核医学科工作场所日等效最大操作量为 $6.886 \times 10^8 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）规定，核医学科工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目核医学科工作场所拟开展的项目工艺及诊治流程分别简述于后。

1、PET-CT 核素显像检查流程及产污环节分析

（1）原理

PET 即正电子扫描仪为分子像设备，由于在核成像中要求能发射 γ 射线，其原理是通过标记参与人体代谢的某些化合物的元素，例如把碳、氟、氧和氮（ ^{11}C 、 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N ）的同位素一种或两种，注入人体后成为稳定的化合物，在活体内参与细胞代谢。用这种正电子发射体取代正常和稳定元素，即形成了此类元素的化合物，此类化合物也是半衰期适合的天然化合物，当此类化合物的正电子与人体内的电子结合时，发生湮灭效应，产生两个能量为 0.511MeV 彼此运动相反的 γ 射线。根据人体不同部位吸收标记化合物能力的不同，同位素在人体内各部位的浓聚程度不同，湮灭反应产生光子的强度也不同。采用闪烁计数器，经过符合计数技术，即可判定这一对 γ 光子辐射的轨迹线，该线经过湮灭源或称确定了这种多次蜕变作用的路径，按照一定规律被计算机采集下来，其成像概念和计算机断层成像法很类似。

PET-CT 的工作原理是把 PET 和 CT 放在一起，通过 PET 扫描和 CT 扫描重边，联合扫描，使两者的硬件和软件有机的结合在一起。工作时，其 CT 球管发射 X 射线，穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 PET 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 PET 图像的重建。所显示的图像为两者图像融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

（2）PET-CT 诊疗流程与产污环节

- ①医护人员在注射室给病人注射放射性药物；
- ②病人在 PET-CT 候诊室内静坐规定的时间，待药物代谢至靶器官；
- ③病人进入 PET-CT 扫描室，躺在扫描床上，接受扫描检查；

④得到最终的扫描图像。

医院根据预约的受检者量向药物供货商订购放射性同位素，药物供货商将订购的核素 ^{18}F 、 ^{11}C 运输至核医学科一层，通过药物窗口送进储源室，运输过程由药物供货商负责。由于 ^{18}F 和 ^{11}C 的半衰期极短，每天送药次数为 1~2 次；使用发生器制备 ^{68}Ga 。每次使用时，护士在通风橱内对厂家药物进行活度测定，测量后根据受检者所需核素的量对放射性药物进行自动分装。注射时，护士和受检者采用隔离操作，距离约 50cm，注射窗为 20mmPb 当量，注射时间约 5s/人次。每一位受检者注射完药物后进入 PET-CT 候诊室进行观察，观察等待时间约 10~30min，期间禁止人员陪护，受检者不得离开 PET-CT 候诊室。待药物在身体内有一定程度的代谢后，再到 PET-CT 扫描室进行扫描检查，摆位时间约 0.5min，扫描时间约 10~30min，在检后留观室经观察无不良反应即可离开。PET-CT 显像诊断流程见图 9-6。

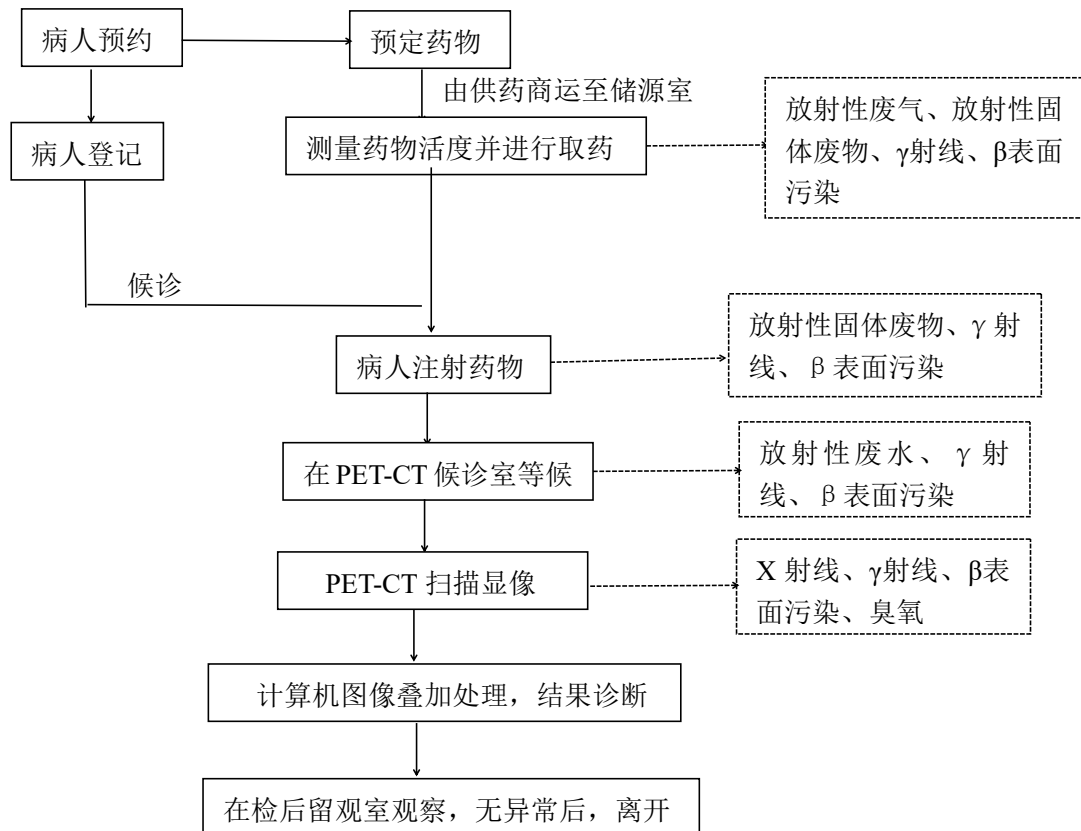


图 9-6 PET-CT 显像诊断及产污流程图

在核素显像检查过程中，主要的环境影响为注射、检前休息观察过程对工作人员产生外照射；注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的棉签、手

套、口罩、污染擦拭或清洗物、废 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器等固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、使用放射性药物患者的排泄物；淋洗 ^{68}Ga 产生的含 ^{68}Ga 的气溶胶。CT 扫描时产生的 X 射线、臭氧。

(3) ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器

原理： ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器是由母核体 ^{68}Ge （半衰期为 287d）和子核体 ^{68}Ga （半衰期为 68min）组成，发生器是由一个硼硅酸盐玻璃柱组成的封闭系统，硼硅酸盐玻璃柱上有二氧化钛层，用来吸附 ^{68}Ge 。 ^{68}Ga 可不断的通过其放射性母体 ^{68}Ge 的衰变而产生，并用无菌超纯盐酸洗脱得到离子型 ^{68}Ge 。

^{68}Ga 制备流程：①用 HCl 溶液对 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器进行淋洗，收集洗脱液，淋洗时间约 10s；②对洗脱液进行活度检测后加入预先制备的 DOTA-TATE 试剂盒中，标记时间约 5s；③在体系 PH 值为 4.0 左右，85℃反应 15min 左右，即可得到 ^{68}Ga -DOTA-TATE；④采用放射性 HPLC 对标记物进行鉴定与分离，分离鉴定时间约 5s；⑤提取后的标记物溶液用 PBS 和醋酸钠溶液在 37℃条件下放置多个时间段，用放射性 HPLC 测得其纯度，评估其稳定性，测定纯度时间约 5s。

(4) ^{68}Ge 密封校准源

密封校准源 ^{68}Ge 主要用于 PET 的图像校准及探头校正，校准源储存在储源室的保险柜中，保险柜采用双人双锁防盗管理，用于质控（时间校准、定位、均一性）。PET-CT 设备使用 1 枚 ^{68}Ge 校准源，活度为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。

需要校准时，工作人员将含密封校准源铅罐推至 PET-CT 扫描室内，采用机械夹子将校准源放在支架上，操作时工作人员与校准源的距离大于 1m，工作人员退出机房，设备进行校准。每日校准由技师负责，每月校准和每季度校准由生产厂家负责。校准源使用过程中不产生放射性废物，图像校准及探头校正过程中释放出 γ 射线贯穿屏蔽层对操作人员产生影响较小。

质控选择在没有受检者的时候进行，具体操作流程如下：

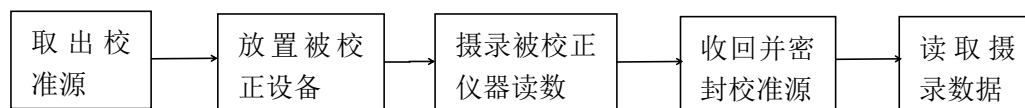


图 9-7 ^{68}Ge 质控操作流程

2、SPECT-CT 显像检查流程及产污环节分析

(1) 原理

SPECT-CT 核素显像是将放射性核素及其标记物注射到人体内。由于机体功能和代谢变化，因而可以通过放射性核素及其标记物在体内的分布和代谢来反映人体内的病理和生理变化。放射性药物进入人体后，特定的放射性药物按照自身的规律发生衰变，在此过程中可发射一定能量的 γ 射线，利用 SPECT-CT 可以在人体外探测到体内放射性核素的分布，从而能准确的观察到体内的病理和生理变化过程，为临床诊断提供可靠信息。

(2) SPECT-CT 诊疗流程与产污环节

- ①医护人员在注射室给病人注射放射性药物或口服；
- ②病人在 SPECT-CT 候诊室内静坐规定的时间，待药物代谢至靶器官；
- ③病人进入 SPECT-CT 扫描室，躺在扫描床上，接受扫描检查；
- ④得到最终的扫描图像。

医院根据预约的受检者量向药物供货商订购放射性同位素，药物供货商将订购的核素 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 运输至核医学科一层，通过储源室的药物窗口送至核医学科。运输过程由药物供货商负责。每次使用时，医生在通风橱内对厂家药物进行活度测定，测量后根据受检者所需核素的量对放射性药物进行人工分装。

^{99m}Tc 通过 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器淋洗出 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ ，标记相应靶向药物而得到。 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器中，子体核素和母体核素的分离主要是基于它们之间不同的物理和化学特性。将母体核素的溶液通入柱中，母体核素便吸附于柱料的上端。使用时将一定量的淋洗液通入柱中，由于母体核素与子体核素理化性质的不同，二者在柱料和淋洗液之间的分配系数也不同，子体核素随淋洗液一同流出柱外，而母体核素则基本不移动位置或仅移动很小的距离。整个发生器包裹在铅防护套中。淋洗在带有通风设施的铅操作箱中进行。淋洗过程中，医生需穿铅衣、戴铅帽、铅围脖、铅眼镜、手套，佩戴个人剂量剂。 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器每周更换一次。

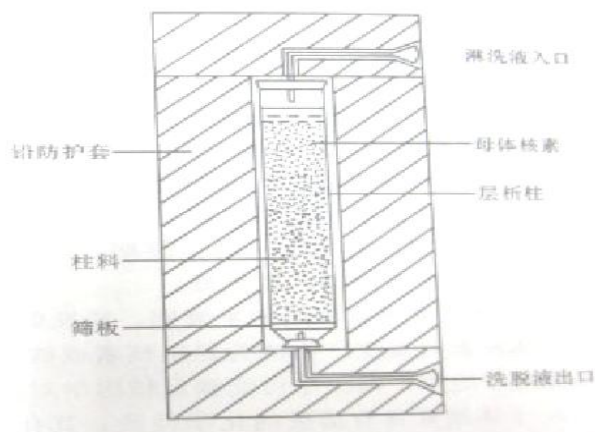


图 9-8 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器结构示意图

注射和给药时，护士和受检者采用隔离操作，距离约 50cm，注射窗为 20mmPb 当量，注射给药时间约 5s/人次。每一位受检者注射完药物后进入 SPECT-CT 候诊室进行观察，观察等待时间约 10~30min，期间禁止人员陪护，受检者不得离开 SPECT-CT 候诊室。待药物在身体内有一定程度的代谢后，再到 SPECT-CT 扫描室进行扫描检查，摆位时间约 0.5min，扫描时间约 10~30min，在检后留观室经观察无不良反应即可离开。PET-CT 显像诊断流程见图 9-9。

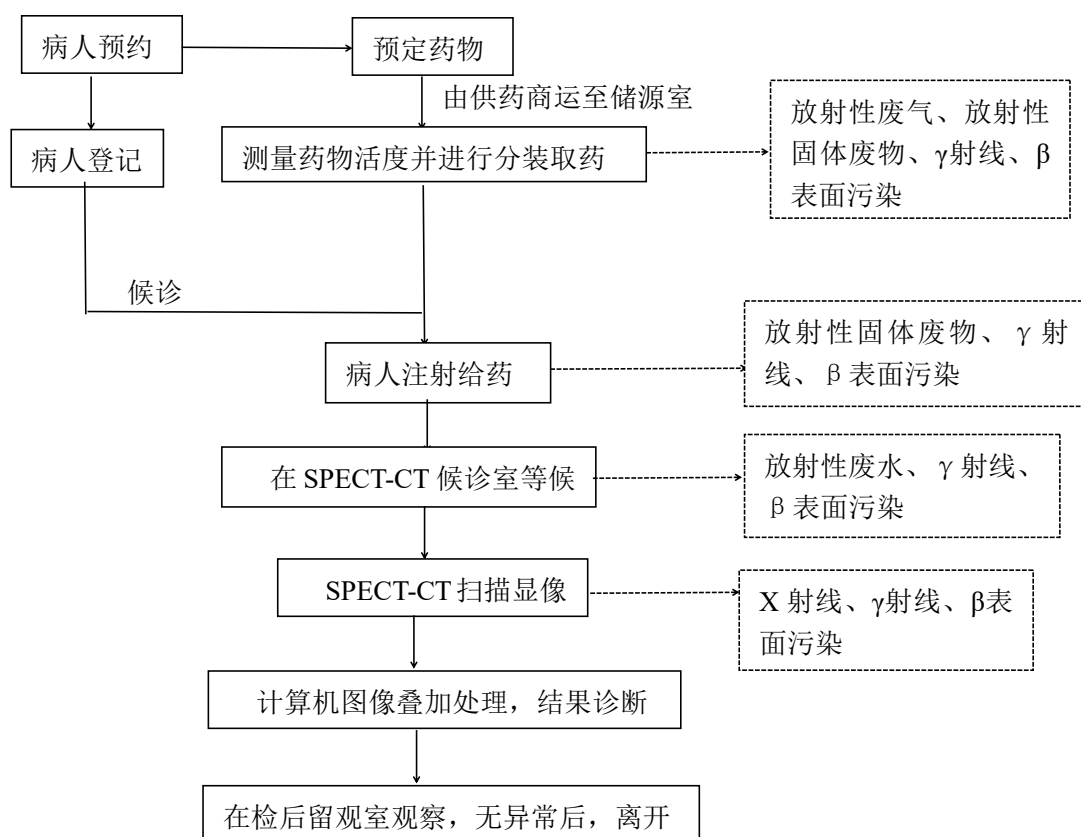


图 9-9 SPECT-CT 显像诊断及产污流程图

在 SPECT-CT 核素显像检查过程中，主要的环境影响为分装、给药过程对工作人员产生外照射；分装、给药过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、药物的服药杯、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物、废 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、使用放射性药物患者的排泄物；分装过程中产生的放射性废气；CT 扫描时产生的 X 射线、臭氧。

3、皮肤敷贴治疗流程及产污环节分析

(1) 工作原理

^{90}Sr 半衰期为 29.1 年， ^{90}Y 半衰期为 2.67 天。 ^{90}Sr 属纯 β 率变，其衰变能为 546keV， β 射线的最大能量为 546keV。该能量的 β 射线在人体组织或水中的射程为 0.22mm，在空气中的射程为 138cm。当 ^{90}Sr 率变时，它放出 β 射线后变为 ^{90}Y ，而 ^{90}Y 衰变时放出 2.280MeV 的 β 粒子，因此起决定性影响的是 ^{90}Y 的 β 粒子。2.280MeV 的 β 粒子在人体组织、空气中的最大射程分别为 12mm、810cm，并且会伴随较强的韧致辐射。其使用方式为将放射源敷贴于患者皮肤表面，利用 β 射线进行治疗。

(2) 治疗流程

本项目在核医学科工作场所敷贴治疗室内使用 1 枚 ^{90}Sr 放射源，放射源活度为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。皮肤敷贴治疗流程如图 9-10 所示。

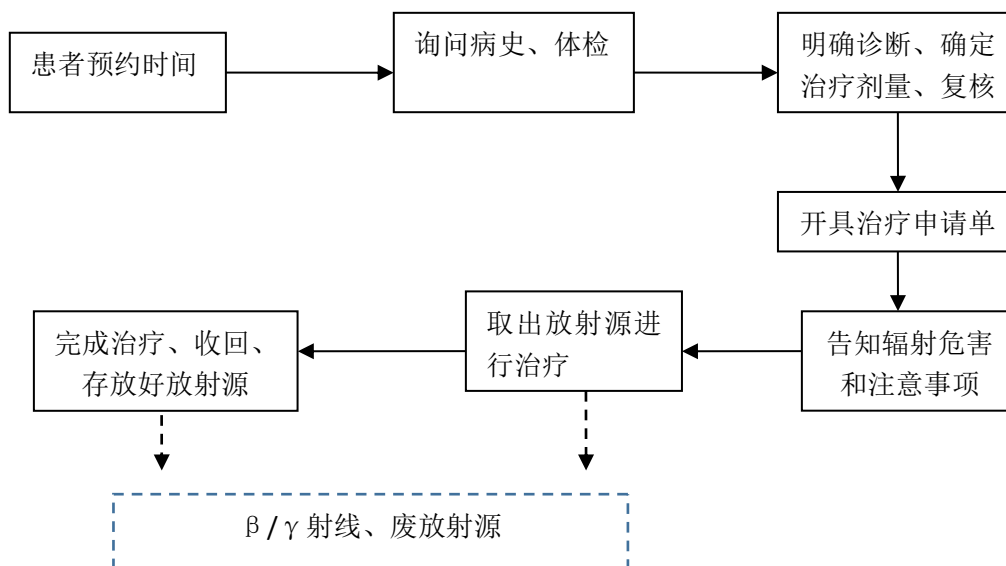


图 9-10 皮肤敷贴治疗流程图

(3) 产污环节

治疗过程会产生 β/γ 射线和放射性固体废物。放射性固体废物主要为废放射源。

4、核医学科人流、物流的路径规划

(1) 人流路径

核医学科人员路径主要是工作人员路径（包括分装和注射人员、SPECT-CT 操作人员、PET-CT 操作人员）、受检者路径（包括 SPECT-CT 显像诊断的患者、PET-CT 显像诊断的患者、敷贴治疗的患者）。

①**工作人员路径：**本项目核医学科设置医患双通道。分装、注射、给药的辐射工作人员通过门 I 进入缓冲室，接着通过门 J 进入分装室。SPECT-CT 设备操作人员通过门 A 进入控制室 1，操作 SPECT-CT，如果患者需要摆位，操作人员通过门 B 进入 SPECT-CT 扫描室。PET-CT 设备操作人员通过门 S 进入控制室 2，操作 PET-CT，如果患者需要摆位，操作人员通过门 T 进入 PET-CT 扫描室。

②**患者路径：**接受 SPECT-CT 影像诊断的患者根据预约安排的时间由大门 C 进入核医学科工作区，然后直走通过门 D 进入注射区，在 SPECT-CT 注射窗口进行注射，注射完成后通过门 E 进入 SPECT-CT 候诊室，然后直走进入对面的 SPECT-CT 扫描室进行扫描，扫描完成后按计划进入病人留观室观察，根据病人身体状况，无异常反应后通过走廊离开核医学科。

接受 PET-CT 影像诊断的患者根据预约安排的时间由大门 C 进入核医学科工作区，然后直走通过门 D 进入注射区，在 PET-CT 注射窗口进行注射，注射完成后通过门 E 进入 SPECT-CT 候诊室，然后直走依次通过门 L、门 O 进入 PET-CT 候诊室，然后直走进入对面的 PET-CT 扫描室进行扫描，扫描完成后按计划进入病人留观室观察，根据病人身体状况，无异常反应后通过走廊离开核医学科。

进行敷贴治疗的患者依次从门 U、门 V 进入敷贴治疗室。

该区域人流大致遵从了由辐射较低活度级别区域到高活度级别区域，基本实现了药物、工作人员和患者通道的分离。

(2) 物流路径

核素进入工作场所的路径：根据提前用药预约安排，在上班之前，核素由药物供应商负责运送，通过传递窗口送入储源室。有病人需要治疗时，在注射窗口进行注射服药。

在分装室内放置 1 个放射性废物桶收集放射性固体废物。收集的放射性固体废物暂存在放射性废物暂存室，待衰变时间超过所含半衰期最长核素的 10 个半衰期后，

核医学科人流、物流的路径规划如图 9-11 所示。



污染源项描述

（一）建设期

1、污染源项

本项目施工期没有辐射污染源项，施工期主要是对装修，工程量小，施工时间短，非放射性物质产生量较小。

2、非放环境影响因子

施工期非放环境影响因子主要是：废气、废水、噪声和固体废物。

（二）运行期

1、电离辐射

DSA、C 型臂 X 射线机、SPECT-CT、PET-CT 在开机状态下产生的 X 射线；15MV 医用直线加速器在开机状态下产生的 X 射线、电子束、中子、感生放射性；后装机在放射治疗过程中产生的 β/γ 射线；核医学科在诊断过程中产生的 β/γ 射线、表面污染。

2、废气

在药物分装过程中产生少量放射性废气；医用直线加速器、DSA、C 型臂 X 射线机、SPECT-CT、PET-CT 曝光过程中臭氧产生量很小，经通排风系统处理后对环境的影响较小。

3、固体废物

核医学科产生的沾染放射性药物的注射器、注射针头、口杯及可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、敷贴滤纸、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；介入手术时产生医用器具和药棉、纱布、手套等；辐射工作人员产生少量生活垃圾及办公垃圾；后装机、敷贴治疗、PET-CT 及自动分装仪产生的废放射源；PET-CT 产生的废弃 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器；SPECT-CT 产生的废弃 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器；放射性废气净化装置产生的废活性炭。非核医学科工作人员和患者产生的生活垃圾。

4、废水

核医学科工作台面、地面去污时产生的放射性废水，工作人员操作过程中手部受到微量污染的废水和注射后患者冲洗排便等放射性废水，非核医学科工作人员和患者产生的生活污水。

5、噪声

本项目噪声源主要为风机噪声、空调噪声。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、医用直线加速器的安全与防护

（一）辐射屏蔽措施

根据医院提供的资料，医院对医用直线加速器治疗室采取了实体屏蔽措施，对治疗室的使用面积按照《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）进行校核，结果表明医用直线加速器治疗室实际使用面积均为56m²，大于GBZ 126-2011要求的机房实际使用面积为45m²。机房墙体、迷道和顶部均采用混凝土作为防护，防护门为17mm铅当量+100mm含硼聚乙烯单扇电动推拉门。对照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分:电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），本项目医用直线加速器治疗室墙体屏蔽满足相关要求，具体如表10-1所示：

表 10-1 医院放疗科医用直线加速器工作场所实体防护设施表

房间名称	辐射防护设计
1#加速器治疗室	1#加速器治疗室四面墙体、迷道、顶部和底部均为钢筋混凝土，主射方向朝向北侧、南侧、顶部、底部。北侧主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；南侧主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；西侧墙厚 1800mm；东侧设有“L”型迷道，迷道墙厚 1500mm，外墙厚 1300mm；顶部主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；底部主屏蔽墙厚 3000mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1800mm；防护门为 17mm 铅当量+100mm 含硼聚乙烯单扇电动推拉门
2#加速器治疗室	2#加速器治疗室四面墙体、迷道、顶部和底部均为钢筋混凝土，主射方向朝向北侧、南侧、顶部、底部。北侧主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；南侧主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；西侧墙厚 1800mm；东侧设有“L”型迷道，迷道墙厚 1500mm，外墙厚 1300mm；顶部主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；底部主屏蔽墙厚 3000mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1800mm；防护门为 17mm 铅当量+100mm 含硼聚乙烯单扇电动推拉门
3#加速器治疗室	3#加速器治疗室四面墙体、迷道、顶部和底部均为钢筋混凝土，主射方向朝向北侧、南侧、顶部、底部。北侧主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；南侧主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；西侧墙厚 1800mm；东侧设有“L”型迷道，迷道墙厚 1500mm，外墙厚 1300mm；顶部主屏蔽墙厚 3150mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1950mm；底部主屏蔽墙厚 3000mm、宽 4000mm，次屏蔽墙厚 1800mm；防护门为 17mm 铅当量+100mm 含硼聚乙烯单扇电动推拉门

（二）通风系统

通排风系统：15MV 医用直线加速器治疗室均配置有通排风系统。1#加速器治疗

室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室均采用上送风、下排风式的机械通风装置，在治疗室吊顶上采用新风系统进风，设置 2 个进风口，在治疗室进风口对角线墙脚下设有排风口（距地面 200mm），通过专用排风管道（400×200mm 镀锌铁皮管道）连接至排风井。进风管道由防护门上方靠近顶板处斜向进入加速器治疗室，并在管道安装好后使用铅皮封堵多余空隙。每个加速器治疗室容积约 224m³，通风换气次数不小于 4 次/h，其治疗室内有效排风量需不小于 900m³/h，1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室和后装治疗室排风管道汇集到一条总管道，然后将废气导至第二住院楼顶上集束排放（排放口朝向东侧）。

（三）医用直线加速器的辐射防治措施

本项目医用直线加速器辐射防护措施具体如下所述：

1、对 X 射线的防护措施

①穿过加速器治疗室屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成 S 形或 U 形，不要正对工作人员经常停留的地点。

②为防止辐射泄漏，防护门与墙的重叠宽度至少为空隙的 10 倍，门的底部与地面之间的重叠宽度至少为空隙的 10 倍。

③为防止排风口排出的气体反流污染进气口，进风口和排风口对角线布置。进、排风口附近应尽量禁止有人员活动。

④操作人员采取隔室操作方式，控制室与治疗室之间以墙体隔开，通过电视图像观察病人情况，通过对讲机与病人交流。

⑤通过制定最优化的治疗、诊断方案尽量减少射线装置的照射时间。尽量减少人员与机房的近距离接触时间。

⑥操作加速器的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计。

⑦治疗前对放疗计划剂量进行核对，每次照射时体位都须一致。采用恰当的个人防护用品（如铅衣、铅围裙、三角巾等）屏蔽肿瘤周围的健康组织。

2、对电子线的防护措施

本项目 15MV 医用直线加速器在按电子模式工作时，最大电子线能量为 22MeV，根据《辐射防护导论》，能量为 E（MeV）的单能电子束，在低 Z 物质中的射程（单位为 g·cm⁻²）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍。本项目以电子档工作时最大电子线

能量为 22MeV，射程为 $22 \times 0.6 = 13.2 \text{g/cm}^2$ ，可以估算出 22MeV 的电子在密度为 $2.35 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的混凝土中的深度约为 5.6cm，而本项目屏蔽体厚度最小的亦为 130cm 混凝土，对电子线能产生完全屏蔽，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子模式产生的 X 射线的屏蔽。

3、中子防护

据《辐射防护手册（第一分册）》（原子能出版社 1987 年 8 月）10.4 节电子加速器屏蔽，P448）描述，电子加速器屏蔽“在采用普通混凝土作屏蔽材料时，各种光中子的附加影响通常可以不必考虑。但是，当采用对中子屏蔽性能不好的材料（如钢、铅）时，则要注意校核中子剂量是否允许”。

对加速器机房迷道外口中子的屏蔽，按《辐射防护手册》第三分册 4.2 加速器的建筑物和辐射屏蔽（P₁₀₅）描述的内容“为了减少迷道外口的中子剂量，在防护门的里侧贴一层对热中子吸收较好的材料（如镉片或含硼水泥，含硼聚乙烯）是有效的”。医院在设计治疗室防护门时综合考虑了上述因素，要求在加速器治疗室防护门的里侧贴一层厚度为 100mm 含 5%硼聚乙烯。

4、感生放射性防护

医用直线加速器产生感生放射性的主要部件和物体有：①加速器照射头和偏转磁体中的铜、铝等部件受照而产生的感生放射性；②加速器束流管及其他结构材料（主要为不锈钢和铝）受照射而引起的感生放射性；④加速器冷却水中的氧和混凝土墙中的镁、铝受照射而引起的感生放射性；⑤室内空气受照射而引起的感生放射性等。

医用电子加速器引致的感生放射性，主要发射 γ 、 β 射线。在医用加速器应用的能量范围内，感生放射性主要通过 (γ, n) 或 (e, n) 反应产生。表 10-2 列出了医用加速器由于 (γ, n) 反应容易出现的感生放射性核素。

表 10-2 加速器构件及环境的感生放射性产物表

部位	材料	感生放射性核素	半衰期	辐射类型	主要产生方式
照射头部件	铝	^{27}Mg	9.5min	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(n, p)^{27}\text{Mg}$
		^{24}Na	14.9h	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(n, a)^{24}\text{Na}$
		^{28}Al	2.3min	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(n, r)^{28}\text{Al}$
	铜	^{62}Cu	9.7min	β^+ 、 γ	$^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$
		^{64}Cu	12.8h	β^+ 、 γ	$^{65}\text{Cu}(n, 2n)^{64}\text{Cu}$
		^{66}Cu	5.1min	β^- 、 γ	$^{65}\text{Cu}(n, r)^{66}\text{Cu}$

束流管	不锈钢	^{56}Mn	2.6h	β^- 、 γ	$^{56}\text{Fe}(\text{n}, \text{p}) ^{56}\text{Mn}$
		^{65}Ni	38min	β^- 、 γ	$^{64}\text{Ni}(\text{n}, \text{r}) ^{65}\text{Ni}$
	铝	^{27}Mg	9.5min	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{p}) ^{27}\text{Mg}$
		^{24}Na	14.9h	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{a}) ^{24}\text{Na}$
		^{28}Al	2.3min	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{r}) ^{28}\text{Al}$
偏转磁铁	铜	^{62}Cu	9.7min	β^+ 、 γ	$^{63}\text{Cu}(\text{n}, 2\text{n}) ^{62}\text{Cu}$
		^{64}Cu	12.8h	β^+ 、 γ	$^{65}\text{Cu}(\text{n}, 2\text{n}) ^{64}\text{Cu}$
	不锈钢	^{66}Cu	5.1min	β^- 、 γ	$^{65}\text{Cu}(\text{n}, \text{r}) ^{66}\text{Cu}$
		^{56}Mn	2.6h	β^- 、 γ	$^{56}\text{Fe}(\text{n}, \text{p}) ^{56}\text{Mn}$
		^{65}Ni	38min	β^- 、 γ	$^{64}\text{Ni}(\text{n}, \text{r}) ^{65}\text{Ni}$
结构材料	铝	^{27}Mg	9.5min	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{p}) ^{27}\text{Mg}$
		^{24}Na	14.9h	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{a}) ^{24}\text{Na}$
		^{28}Al	2.3min	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{r}) ^{28}\text{Al}$
	铜	^{62}Cu	9.7min	β^+ 、 γ	$^{63}\text{Cu}(\text{n}, 2\text{n}) ^{62}\text{Cu}$
		^{64}Cu	12.8h	β^+ 、 γ	$^{65}\text{Cu}(\text{n}, 2\text{n}) ^{64}\text{Cu}$
		^{66}Cu	5.1min	β^- 、 γ	$^{65}\text{Cu}(\text{n}, \text{r}) ^{66}\text{Cu}$
	不锈钢	^{56}Mn	2.6h	β^- 、 γ	$^{56}\text{Fe}(\text{n}, \text{p}) ^{56}\text{Mn}$
		^{65}Ni	38min	β^- 、 γ	$^{64}\text{Ni}(\text{n}, \text{r}) ^{65}\text{Ni}$
混凝土材料	铝	^{27}Mg	9.5min	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{p}) ^{27}\text{Mg}$
		^{24}Na	14.9h	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{a}) ^{24}\text{Na}$
		^{28}Al	2.3min	β^- 、 γ	$^{27}\text{Al}(\text{n}, \text{r}) ^{28}\text{Al}$
冷却水	水	^{16}N	7.35s	β^- 、 γ	$^{16}\text{O}(\text{n}, \text{p}) ^{16}\text{N}$
空气	氮	^{13}N	10min	β^+ 、 γ	$^{14}\text{N}(\text{r}, \text{n}) ^{13}\text{N}$

由表 10-2 可知，医用直线加速器运行中产生的感生放射性产物，其辐射类型多数为 β^- 、 γ 辐射，也有少量 β^+ 、 γ 辐射，其半衰期最长的为 14.9h，而最短的仅有 7.35s，均属短半衰期核素。对加速器部件、治疗室内设备、墙体和冷却水等固、液态物质产生的感生放射性，其 β^- 和 β^+ 辐射经自吸收、设备屏蔽和距离及自然衰减后，对医生和接受治疗的患者已基本无影响。对于 γ 辐射由于穿透力较强，医生在治疗室内进行病人摆位时，应尽量缩短操作时间，并与感生放射性较强的设备（如照射头等）保持一定的距离，并佩戴好个人防护用品，以尽量减少感生放射性的影响。对于接受治疗的患者，由于治疗时间短、治疗频度小，无需对医用加速器的感生放射性做专门防护。

为防止感生放射性对医生、维修人员和患者的照射，医院采取的相应防护措施如下：①利用感生放射性核素半衰期比较短的特点，待其衰变到环境本底辐射水平后，相关人员才能对感生放射性部件加以处置或与其接触；②采用距离防护方法，利用与其间隔一段距离的办法加以防护；③加速器退役时，应对加速器部件的感生放射性进

行一次调查，测定辐射水平，高于豁免值的部件应作为放射性固体废物进行处理；④待空气中的感生放射性核素衰变到环境本底辐射水平后，人员才能进入治疗室；⑤用通风方式将空气中的感生放射性核素排出治疗室外；⑥加速器运行时，尽量减少人员进入水冷机房；⑦冷却水系统需要检查、检修时，检修人员应在加速器运行停机一段时间后方可进入水冷机房，进入时应进行辐射监测。

4、辐射防护措施

（1）操作人员隔室操作：本项目直线加速器控制室与治疗室之间以墙体和过道隔开，机房内拟安装电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监控观察治疗室内患者治疗的情况，并通过对讲机与治疗室内患者联系。机房内墙体交叉口距顶 200mm、迷道口距顶 200mm 处均安装有监控装置，保证机房内监控全覆盖。

（2）门机连锁装置：加速器与屏蔽门之间拟设联锁装置。屏蔽门未关好，加速器不能出束；加速器工作期间屏蔽门不能打开。

（3）紧急制动装置和紧急开门按钮：除了加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上自带的紧急制动按钮外，机房内墙非主射线位置上设置有紧急制动按钮，以使误入人员按动紧急制动按钮就能使加速器停机；迷道出口处设置了紧急开门按钮。

（4）工作状态显示及警示标识：加速器治疗室防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。加速器处于出束状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当加速器处于非出束状态，指示灯为绿色。加速器机房屏蔽门上设置明显的电离辐射警告标志。

（5）在加速器机房墙上安装固定式剂量报警装置（带剂量显示功能），探头安装在机房迷道内墙上（靠近防护门），只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

（6）通过制定最优化的治疗、诊断方案尽量减少射线装置的照射时间。尽量减少人员与机房的近距离接触时间。

（7）加速器治疗室的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计和预定剂量率阈值自动报警仪。

（8）加速器将由生产厂家进行质保维修，医院设备科人员仅对加速器进行日常维护（如电路、开关、机电等维护）。

5、直线加速器设备固有安全性分析

（1）加速器只有在通电开机时才有 X 射线产生，断电停机即停止出束；通过多

叶准直器定向出束，其他方向的射线被自带屏蔽材料所屏蔽。

(2) 条件显示连锁：当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

(3) 控制台上蜂鸣器，在加速器工作时发出声音以警示人员防止误入。

(4) 治疗床旁、加速器主机和控制台上安装紧急制动按钮。

(5) 有控制超剂量连锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。有剂量分布监测装置与辐照终止系统连锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止照射。

(6) 有时间控制连锁，当预选照射时间定时，定时器能独立地使照射停止。

从加速器固有安全性能可以看出，加速器在防止事故发生方面，设有相应措施。只要操作人员按照加速器说明书要求严格执行，就能够减少 X 射线对人员的辐射危害和降低辐射事故的发生率。

6、加速器治疗项目对患者的防护要求

在满足治疗和诊断要求前提下，根据治疗和诊断要求以及病人实际情况制定最优化的治疗、诊断方案，减少工作人员所受剂量，也保护患者受到多余剂量的照射。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“医疗防护最优化”的要求，医院制定《治疗照射最优化方案》需要包括以下内容：

(1) 医用放射性设备要求：医疗照射的系统应当可及时发现系统内单个部件的故障，以使对患者的任何非计划医疗照射减至最小，并有利于尽可能避免或减少人为失误。医院同时应在设备供货方的合作下，使设备时刻处于安全状态。

(2) 操作要求：应按照电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）的要求完善对婴儿及孕妇的防护。

(3) 医疗照射的质量保证：医院按要求在放射治疗中配备了相应的治疗医师、物理师、技师等，并制定了质量保证大纲（方案）。

(4) 根据临床检查结果，对患者肿瘤诊断和治疗方式利弊进行分析，选取最佳治疗方案，并制定最佳治疗计划。

(5) 在保证肿瘤得到足够精确致死剂量使其得以有效抑制或消除的前提下，按病变情况，采用适当技术措施，保护照射野以外的正常组织和器官，使受照剂量尽可能小，以获取尽可能大的治疗效果。

(6) 定期对治疗中患者进行检查和分析，根据病情变化需要，调整治疗计划，

密切注意体外放疗中出现的放射反应和可能出现的放射损伤，采取必要的医疗保护措施。

(7) 在治疗过程中，医院应当为患者穿戴合适的防护用品（如铅衣、铅围裙），采用体膜或面膜固定病人，制作铅档块，对敏感器官和组织进行屏蔽防护。

(8) 患者治疗过程中详细记录设备运行情况，发现异常，分析产生原因并及时修正。

(9) 照射过程中，通过电视监视病人，发现异常应立即停止照射，继续治疗时应重新设定。

(10) 严禁患者治疗完后在治疗场所逗留。

评价要求：医院需制定《治疗照射最优化方案》，并严格按照该规程操作；在每次使用治疗之前，医院应告知病人本次治疗或诊断所受到的辐射剂量率水平，尊重患者及其家属享有的知情权。

二、后装机的辐射防治措施

（一）后装机治疗室实体防护

表 10-3 后装治疗室实体防护设施表

房间名称	辐射防护设计
后装治疗室	后装机治疗室四面墙体、迷道和顶部均为钢筋混凝土，其西侧“L”型迷道内墙和外墙厚分别为500mm、800mm，东侧墙体、南侧墙体、北侧墙体和顶部厚均为800mm，防护门为8mm 铅当量单扇电动推拉门。

除墙体和防护门外，后装治疗室具有以下安全措施：

①后装机治疗室门上有显示工作状态的红色指示灯，墙外有辐射工作场所警示标牌；

②有门机连锁，锁门后才能开机，开机后不能开门，但从控制室内可开启；

③有门源连锁，出源时治疗室门关闭，源回到贮存位后才能开启；

④控制台上放射源位置显示，并与治疗机上显示同步；

⑤有电视监控设备和对讲机；

⑥治疗室内有紧急回源开关；

⑦采用有效屏蔽材料保护照射野外的正常组织和器官，使其受照剂量达到尽可能的低水平；

⑧工作人员佩戴个人剂量计和预定剂量率阈值自动报警仪；

⑨其他安全联锁装置：包括施源器联锁、电源联锁、开关联锁、辐照时间联锁、紧急开关联锁、掉电联锁。

⑩通风系统：后装治疗室采用上送风、下排风式的机械通风装置，在治疗室南侧吊顶上采用新风系统进风，在机房内进风口对角线墙脚下设有排风口（距地面200mm），通过专用排风管道（400×200mm）连接至排风井。进风管道由防护门上方靠近顶板处斜向进入后装治疗室，并在管道安装好后使用铅皮封堵多余空隙。后装治疗室容积约104.9m³，通风换气次数不小于4次/h，其治疗室内有效排风量需不小于500m³/h，后装治疗室与1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室共用1个通风管道，然后将废气导至第二住院楼顶上集束排放（排放口朝向东侧）。

三、核医学科工作场所安全与防护

（一）辐射屏蔽措施

根据医院提供的资料，医院核医学科工作场所设计中采取的实体防护设施，具体情况见表10-3。

表 10-3 本项目核医学科工作场所的实体实施情况表

房间名称	使用功能	辐射防护设计
注射区	注射放射性药物	北侧、西侧、东侧墙体为200mm钢筋混凝土，南侧墙体为240mm钢筋混凝土，顶部和底部采用250mm钢筋混凝土，北侧防护门采用5mm铅当量
SPECT-CT候诊室	注射后进行观察	西侧、南侧为210mm钢筋混凝土，北侧为250mm钢筋混凝土，东侧为370mm钢筋混凝土，顶部和底部采用250mm钢筋混凝土，北侧防护门为7mm铅当量，南侧防护门为5mm铅当量
SPECT-CT扫描室	患者进行SPECT-CT扫描	北侧和南侧墙体为250mm钢筋混凝土，东侧和西侧墙体为250mm钢筋混凝土，顶部和底部采用250mm钢筋混凝土，西侧防护门和观察窗为4mm铅当量，南侧防护门为7mm铅当量
SPECT-CT留观室	扫描完进行留观	北侧为250mm钢筋混凝土，西侧为370mm钢筋混凝土，南侧墙体为210mm钢筋混凝土，东侧墙体为180mm钢筋混凝土，顶部采用250mm钢筋混凝土，西侧、东侧防护门为12mm铅当量
PET-CT候诊室和VIP候诊室	注射后进行观察	北侧、西侧、东侧墙体为240mm钢筋混凝土，南侧墙体为100mm钢筋混凝土，南侧防护门为3mm铅当量，顶部和底部为250mm钢筋混凝土

PET-CT 扫描室	患者进行 PET-CT 扫描	东侧、西侧、南侧、北侧墙体为 250mm 钢筋混凝土，顶部、底部采用 250mm 钢筋混凝土，北侧防护门为 4mm 铅当量，西侧防护门和观察窗均为 8mm 铅当量
PET-CT 留观室	扫描完进行留观	北侧墙体为 210mm 钢筋混凝土，西侧墙体为 200mm 钢筋混凝土，南侧墙体为 240mm 钢筋混凝土，东侧墙体为 260mm 钢筋混凝土，顶部和底部为 250mm 钢筋混凝土
储源室	储存放射性药物和放射源	北侧、南侧、西侧墙体为 240mm 钢筋混凝土，东侧墙体为 180mm 钢筋混凝土，东侧防护门为 4mm 铅当量，西侧传递窗为 7mm 铅当量，顶部和底部为 250mm 钢筋混凝土
分装室	分装放射性药物	西侧墙体为 180mm 钢筋混凝土，北侧、南侧、东侧墙体为 240mm 钢筋混凝土，西侧防护门为 4mm 铅当量，北侧防护门为 5mm 铅当量，注射窗口为 20mm 铅当量，顶部和底部为 250mm 钢筋混凝土
放射性废物暂存室	暂存放射性固体废物	北侧墙体为 240mm 钢筋混凝土，西侧和南侧墙体为 200mm 钢筋混凝土，东侧墙体为 180mm 钢筋混凝土，南侧防护门为 4mm 铅当量，顶部和底部为 250mm 钢筋混凝土

（二）安全防护措施

1、警告设施

本项目计划在核医学科工作场所进出口设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在 PET-CT 扫描室、SPECT-CT 扫描室防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。

2、紧急止动装置

在控制台上、扫描室内、治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可令 PET-CT、SPECT-CT 停止运行。

3、操作警示装置

PET-CT、SPECT-CT 扫描时，控制台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

4、视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核医学科工作场所进出/口情况；PET-CT 扫描室、SPECT-CT 扫描室与控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与扫描室内受检者联系。

5、门禁系统

在核医学科受检者入口处设置专用门禁系统，对受检者的出入进行控制。

（三）放射性药物的存放

本项目核医学科使用的放射性药物由供应单位直接派专人直接送至储源室，并置于通风橱中的铅罐内。校准源放置在储源室的保险柜内。分装室、储源室防护门为铅防护门，采用双人双锁管理模式。日常期间由值班人员巡视检查。

（四）表面污染控制措施

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

（1）放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

（2）操作放射性药物时，须在有负压的通风橱内进行，防止放射性物质飞散；

（3）放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

（4）操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

（五）人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者及本次评价范围内其他人员。

1、辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

（1）屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护手套、铅橡胶围裙等个人防护用品，注射器配备注射防护套。

（2）时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

(3) 距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

2、受检者的防护

为减少受检者的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

(1) 屏蔽防护：PET-CT 扫描室、SPECT-CT 扫描室内拟为受检者配备个人防护用品，如铅防护围裙等。

(2) 时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

(3) 距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

3、其他人员防护

(1) 屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

(2) 时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

(3) 距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

(六) 其它防护措施

(1) 设置缓冲室，辐射工作人员操作后离开辐射工作场所前洗手和进行表面污染监测，如污染水平超过规定值要求，采取相应的去污措施；

(2) 注射放射性药品时，在操作过程中垫上一次性、容易吸附溅洒液体的厚纸，每次完成注射工作后，将其放入放射性废物桶内，这样便于保持操作台免受放射性沾污；

(3) 核医学科工作场所产生的放射性废水均排入废水衰变池内，PET-CT 候诊室、SPECT-CT 候诊室及检后留观室设有专用卫生间，专用卫生间下水道通往废水衰变池；

(4) 核医学科工作人员及时检查通风橱的通风效果，定期检查通风设施工作的有效性和稳定性。定期更换活性炭，不得随意丢弃；

(5) 核医学科工作场所设置电离辐射警告标志，核医学科工作场所划分控制区和监督区，同时在地面设置行走箭头标识，严格规定各类人员的活动路径；

(6) 核医学科控制区受检者活动场所设置监控装置和对讲装置，便于指导受检

者就诊；

(7) 注射放射性药物的受检者在 PET-CT 候诊室、SPECT-CT 候诊室内等待扫描，期间不得随意“串门”；

(8) 衰变池四周设置隔离，并设置电离辐射警示标志及中文说明，以提醒无关人员不要靠近和停留；

(9) PET-CT 扫描室和 SPECT-CT 扫描室的电缆穿墙后，采用软铅皮进行辐射防护，防止射线泄露。

四、DSA 和 C 型臂 X 射线机辐射安全及防护措施

1、辐射屏蔽措施

根据医院提供的资料，医院 1#DSA 介入室、2#DSA 介入室、6 号杂交手术室、ERCP 室所采取的实体防护设施情况见表 10-4。

表 10-4 机房的实体防护设施对照表

名称	面积 (m ²)	四周墙体	屏蔽门	观察窗	屋顶	地板
1#DSA 介入室	87m ² (最小单边长度 8.1m)	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	3mm 铅当量铅门	3mm 铅当量铅玻璃	120mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量的铅板 (相当于 3.5mm 铅当量)	240mm 钢筋混凝土 (相当于 3mm 铅当量)
2#DSA 介入室	70m ² (最小单边长度 7.5m)	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	3mm 铅当量铅门	3mm 铅当量铅玻璃	120mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量的铅板 (相当于 3.5mm 铅当量)	240mm 钢筋混凝土 (相当于 3mm 铅当量)
6 号杂交手术室	76m ² (最小单边长度 6.6m)	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	3mm 铅当量铅门	3mm 铅当量铅玻璃	120mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料 (相当于 2.5mm 铅当量)	200mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料 (相当于 3.5mm 铅当量)
ERCP 室	65.6m ² (最小单边长度 8.1m)	370mm 实心砖 (相当于 3mm 铅当量)	3mm 铅当量铅门	3mm 铅当量铅玻璃	160mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料 (相当于 3mm 铅当量)	200mm 钢筋混凝土 (相当于 2.5mm 铅当量)
医用 X 射线诊断放射防护的要求	最小有效使用面积 20m ² ，最小单边长度 3.5m	有用线束 2mm 铅当量；非有用线束 2mm 铅当量				

备注	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求
2、安全措施 ①门灯联锁：1#DSA介入室、2#DSA介入室、6号杂交手术室、ERCP室防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。防护门关闭时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯灭。 ②紧急止动装置：控制台上、介入手术床旁、介入室内墙上均设置紧急止动按钮（各按钮分别与X线系统连接）。射线装置的X线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任何一个紧急止动按钮，均可停止X线系统出束。 ③操作警示装置：DSA和C型臂X射线机的X线系统出束时，控制台上的指示灯变色，同时蜂鸣器发出声音。 ④对讲装置：在1#DSA介入室、2#DSA介入室、6号杂交手术室、ERCP室与控制室之间拟安装对讲装置，控制室的工作人员通过对讲机与机房内的手术人员联系。 ⑤警告标志：1#DSA介入室、2#DSA介入室、6号杂交手术室、ERCP室的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。 3、人员的安全与防护 人员主要指本项目辐射工作人员、受检者或患者、本次评价范围内公众。 （1） 辐射工作人员 为减少辐射工作人员的照射剂量，采取防护X射线的主要方法有屏蔽防护、时间防护和距离防护，三种防护联合运用、合理调节。 ①距离防护 机房严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。 ②时间防护 在满足诊断要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊断之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。根据医院的实际情况，医院的DSA和C型臂X射线机主要用于股动脉、股静脉的穿刺，下肢深静脉血栓介入治疗，肝癌、肺癌的介入治疗，部分性脾动脉栓塞						

术、支气管动脉栓塞、子宫动脉栓塞术、髂内动脉栓塞术，全脑血管造影等。

③屏蔽防护

隔室操作：辐射工作人员采取隔室操作方式，通过控制室与介入室之间的墙体、铅门和铅玻璃窗屏蔽 X 射线，以减弱或消除射线对人体的危害。

个人防护用品和辅助防护设施：辐射工作人员配备个人防护用品（铅围脖、铅衣和铅眼镜等），防护厚度为 0.5mm 铅当量。辐射工作人员应正确使用个人防护用品（佩戴个人剂量计、防护铅衣等）等。

剂量计的佩带：对于工作中穿戴铅围裙（如医院放射科）的场合，通常应根据佩带在围裙里面躯干上的剂量计估算工作人员的实际有效剂量。当受照剂量可能超过调查水平时（如介入放射学操作），则还需要在围裙外面衣领上另外佩带一个剂量计，以估算人体未被屏蔽部分的剂量。

④个人剂量监测

辐射工作人员均配备有个人剂量计，并要求上班期间必须佩带。医院定期（每季度一次）将个人剂量计送有资质单位进行检测，检测结果存入个人剂量档案。

（2）受检者或患者的安全防护

医院应配有三角巾、铅围脖（防护铅当量应不低于 0.5mm），用于患者非照射部位进行防护，以避免病人受到不必要的照射。另外，在不影响工作质量的前提下，保持与射线装置尽可能大的距离。

（3）机房周边公众的安全防护

周边公众主要依托辐射工作场所的屏蔽墙体、防护门窗和地板楼板屏蔽射线。同时，辐射工作场所严格实行辐射防护“两区”管理，在机房门外张贴电离辐射警告标志和工作状态指示灯，禁止无关人员进入，以增加公众与射线装置之间的防护距离，避免受到不必要的照射。

五、辐射工作场所两区划分

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区

的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和连锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的制定区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标志；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

结合项目诊治、辐射防护和环境情况特点，将辐射工作场所划分为控制区，而设备的控制室（控制室）及其它相关工作场所等均划为监督区。其项目控制区和监督区划分情况见表 10-5，并在图 10-1 上进行了标识。

表 10-5 本项目控制区和监督区划分情况表

科室名称	控制区	监督区
放疗中心	1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室、后装治疗室	水冷机房、控制室、准备室、库房
核医学科	PET-CT 扫描室、SPECT-CT 扫描室、注射区、分装室、SPECT-CT 留观室、PET-CT 留观室、放射性废物暂存室、储源室、PET-CT 候诊室、VIP 候诊室、SPECT-CT 候诊室、敷贴治疗室	缓冲室、控制室 1、控制室 2、候诊大厅
介入诊疗科	1#DSA 介入室、2#DSA 介入室、6 号杂交手术室	设备间、控制室、洁净走廊、缓冲间、体外循环室
消化病中心	ERCP 室	控制室

1、控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志（图 10-1）；

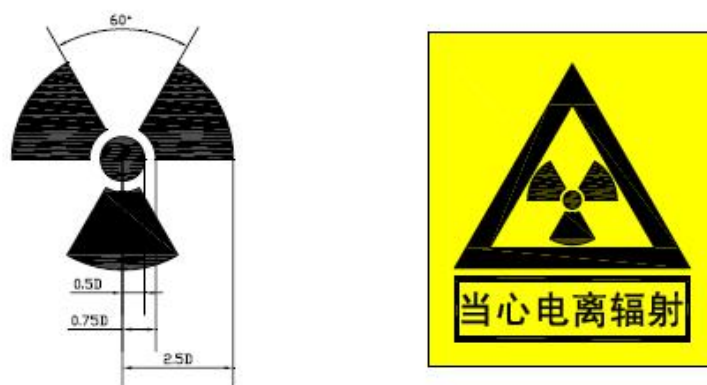


图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志图

②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

④在更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

2、监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区为边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

六、辐射安全防护设施对照分析

综上所述辐射安全防护分析及措施，医院需对下表所列设施进行配置：

表 10-6 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备条件	落实情况	要求新增措施
放疗中心（医用直线加速器）			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	本次新增	/
	铅防护门	本次新增	/
控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	仪器自带	/
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	仪器自带	/
	条件显示连锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制连锁	仪器自带	/
	门机连锁、门灯连锁	本次新增	/
警示装置	入口电离辐射警示标志	本次新增	/
	入口加速器工作状态显示	本次新增	/
	机房内准备出束音响提示	仪器自带	/
	控制台上蜂鸣器	仪器自带	/
紧急设施	治疗室内有紧急停机按钮	本次新增	机房内非主射面墙上有按钮，高度 1.2m
	监控、对讲装置	本次新增	保证机房全覆盖
	紧急开门按钮	本次新增	迷道出口处的铅门内侧墙上，按钮高度 1.2m
监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪	本次新增	/
	便携式辐射监测仪器仪表	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/

	个人剂量计	本次新增	/
防护器材	通风系统	本次新增	/
放疗中心（后装机）			
装置安全设施	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
	施源器与源联锁	设备自带	/
	管道遇堵自动回源	设备自带	/
	仿真源模拟运行系统	设备自带	/
	主机外表电离辐射警示标志	设备自带	/
	控制台显示放射源位置	设备自带	/
	控制台紧急停止照射按钮	设备自带	/
	停电或意外中断照射时自动回源装置	设备自带	/
	手动回源装置	设备自带	/
实体防护	防护墙体、迷道、铅防护门	本次新增	/
	防盗门窗	本次新增	/
	¹⁹² Ir 源专用贮存柜/保险柜	本次新增	/
应急、连锁	放射源返回储源器的应急开关	本次新增	/
	治疗室门与源联锁	本次新增	/
警示装置	停电或意外中断照射时声光报警	本次新增	/
	治疗室电视监控对讲装置	本次新增	/
	电离辐射警示标志和工作状态指示灯	本次新增	/
监测设备	治疗室辐射水平监测仪	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
	个人剂量计	本次新增	/
防护器材	通风系统	本次新增	/
核医学科			
工作场所设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	分区较合理	/
	墙体防护、观察窗、铅防护门	本次新增	/
	场所门外电离辐射警示标志、通道标志	本次新增	/
	独立的通风设施（流向）	本次新增	/
	有负压和过滤的工作箱/通风柜（乙级以上场所）	本次新增	/
	注射用屏蔽设施	本次新增	/
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	本次新增	/
	移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂套	本次新增	/
	病人专用卫生间	本次新增	/
	放射性同位素暂存库或设施	本次新增	/
	放射性固体废物收集容器和放射性标识	本次新增	/
	安全保卫设施（贮存场所必须）	本次新增	/
	人员出口配备污染监测仪	本次新增	/
	发生器辐射屏蔽	发生器自带	/
	操作位屏蔽防护措施	本次新增	/
	放射性废液暂存设施	本次新增	/
警示装置	工作状态指示灯	本次新增	/

紧急设施	门机连锁、门灯连锁装置	本次新增	/
	室内安装紧急制动装置	本次新增	/
监测设备	便携式辐射监测仪（污染、辐射水平等）	本次新增	/
	个人剂量计	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
	放射性活度计	本次新增	/
放射性废物和废液	放射性下水系统（衰变池）及标识	本次新增	/
	放射性固体废物暂存间（设施）	本次新增	/
	废物暂存间屏蔽措施	本次新增	/
	废物暂存间通风系统	本次新增	/
防护器材	门禁、监控装置	本次新增	/
	场所门外电离辐射警示及禁止串门的标志	本次新增	/
	个人防护用品	本次新增	/
	放射性表面去污用品和试剂	本次新增	/
DSA 及 C 型臂 X 射线机			
场所设施	墙体、机房防护门	本次新增	/
	操作位局部屏蔽防护设施	本次新增	/
	观察窗屏蔽	本次新增	/
	通风设施	本次新增	/
	紧急停机按钮	本次新增	/
	门机连锁、门灯连锁	本次新增	/
	监控、对讲系统	本次新增	/
警示装置	入口处电离辐射警告标志	本次新增	/
	入口处机器工作状态显示	本次新增	/
	操作警示装置	本次新增	/
监测设备	便携式辐射监测仪	本次新增	与放疗中心共用
	个人剂量计	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
防护设施	医护人员个人防护	本次新增	/
	患者防护	本次新增	/
防护器材	通风系统	本次新增	/

七、环保设施及投资分析

本项目总投资 20000 万元，其中环保投资 394.75 万元，占总投资约 1.97%。具体环保设施及投资见下表。

表 10-7 环保设施及投资一览表

项目	设施与器材	数量	投资（万元）
放疗中心（医用直线加速器）			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	3 套	150.0
	铅防护门	3 套	6.0

控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	设备自带	/
	条件显示连锁、控制超剂量联锁装置、时间控制连锁	设备自带	/
	门机连锁、门灯连锁	各 3 套	0.6
警示装置	入口电离辐射警示标志	3 个	0.03
	入口加速器工作状态显示	3 个	0.03
	机房内准备出束音响提示	设备自带	/
	控制台上蜂鸣器	设备自带	/
紧急设施	治疗室内有紧急停机按钮	9 个	0.09
	监控、对讲装置	3 套	0.9
监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪	3 个	3.0
	便携式辐射监测仪器仪表	1 个	2.35
	个人剂量报警仪	12 个	1.2
	个人剂量计	20 套	2.0
防护器材	通风系统	3 套	3.0
放疗中心（后装机）			
装置安全设施	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
	施源器与源联锁	设备自带	/
	管道遇堵自动回源	设备自带	/
	仿真源模拟运行系统	设备自带	/
	主机外表电离辐射警示标志	设备自带	/
	控制台显示放射源位置	设备自带	/
	控制台紧急停止照射按钮	设备自带	/
	停电或意外中断照射时自动回源装置	设备自带	/
	手动回源装置	设备自带	/
实体防护	防护墙体、迷道、铅防护门、防盗门窗	各 1 套	30
应急、连锁	放射源返回储源器的应急开关	1 个	0.01
	治疗室门与源联锁	1 套	0.02
	治疗室内有紧急停机按钮	3 个	0.03
警示装置	停电或意外中断照射时声光报警	1 套	0.01
	治疗室电视监控对讲装置	1 套	0.25
	电离辐射警示标志和工作状态指示灯	1 个	0.02
监测设备	治疗室辐射水平监测仪	1 个	1.0
	个人剂量报警仪	4 个	0.4

	个人剂量计	6 套	0.6
防护器材	¹⁹² Ir 源专用贮存柜/保险柜	1 个	2.45
	通风系统	1 套	1.0
核医学科			
工作场所	防护墙体	10 套	50
	铅防护门、观察窗	10 套	30
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料、铅桶、废物桶、废物袋	1 套	1.0
	活度计	1 套	0.5
	注射防护套	2 套	0.2
	给药窗口	2 套	5.0
	通风橱（50mmPb 当量）	2 套	10.0
	核素暂存保险柜、防盗门	1 套	1.0
	病人专用卫生间	6 间	3.0
	对讲和视频监控系统	2 套	0.5
	通道门禁	4 套	1.0
	铅罐	3 个	3.0
	活性炭吸附装置	2 套	2.0
	专用通道标志	1 套	1.0
监测设备	场所门外电离辐射警示及禁止串门的标志	8 个	0.08
	放射性废水衰变池	1 座	6.0
	个人剂量计	12 套	1.2
	个人剂量报警仪	12 个	1.2
	表面污染监测仪	1 套	1.9
放射性废物和废液	γ辐射监测仪	1 套	1.0
	放射性表面去污用品和试剂	若干	1.0
	防护手套、口罩等防护用品	若干	1.0
	通风系统	1 套	2.0
防护器材	通风系统	1 套	2.0
介入诊疗科和消化病中心（DSA 和 C 型臂 X 射线机）			
场所设施	墙体、机房防护门	4 套	21.8
	操作位局部屏蔽防护设施	4 套	12.0
	观察窗屏蔽	4 套	12.0
	紧急停机按钮	8 个	0.1
	门机连锁、门灯连锁	4 套	0.5
	监控、对讲系统	4 套	1.0
警示装置	入口处电离辐射警告标志	4 套	0.04

	入口处机器工作状态显示	4 套	0.04
	操作警示装置	4 套	0.04
监测设备	便携式辐射监测仪	1 个	与放疗中心共用
	个人剂量计	24 套	2.4
	个人剂量报警仪	12 个	1.2
防护设施	医护人员个人防护	8 套	8.0
	患者防护	4 套	4.0
防护器材	通风系统	4 套	4.0
合计			394.75

今后在实践中，医院应根据国家发布的法规内容，结合自身实际情况对环保设施做相应补充，使之更能满足实际需要和法规要求。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目均在南充市中心医院下中坝院区内进行建设。南充市中心医院下中坝院区建设项目已经做了非放环评，并取得了批复，文号为川环审批[2012]725 号，提出了以下施工要求：

1、施工期的大气污染防治对策措施

①施工现场周围应当设置必要的围护设施，周围应当设置遮挡围栏，临路的脚手架也应当设置相应的围护设施；风速四级以上易产生扬尘时，项目施工单位应暂时停止土方开挖，并采取有效措施，防止扬尘飞散；车辆出工地前尽可能清除表面粘附的泥土等；施工场地、施工道路的扬尘可用洒水和清扫措施予以抑止。

②严禁抛洒建筑垃圾，特别是将建筑垃圾抛洒到项目区域的水体内。临时弃土堆放场所周围必须修建围墙，并实施覆盖；转运弃土的车辆装载应适量，严禁多装超载，车辆应实施覆盖，避免沿途洒落。

③施工工地运输车辆驶出工地前必须作除泥除尘处理，严禁将泥土尘土带出工地；道路旁树木、草坪、护栏等公共设施应定期冲洗，保持清洁；沙、渣土、灰土等易产生扬尘的堆放场地，必须设置围栏或采取遮盖、洒水等防尘措施。

④在装修过程中，施工人员应配备必要的防护装备和保证足够的通风量，避免具有刺激性气味的物质或可被人体吸入的粉尘、纤维等对施工人员身体健康造成危害。

⑤在施工期间，应加强对机械设备和运输车辆的维修、保养，禁止其超负荷工作，减少燃油燃烧时污染物的排放量；做好施工周围道路交通组织工作，保障周围道路畅通，避免因施工而造成交通堵塞。

⑥根据《四川省人民政府办公厅关于加强灰霾污染防治的通知》（川办发[2013]32号）、《四川省灰霾污染防治实施计划》等文件要求，建设单位应要求施工单位制定施工期环境管理计划，加强管理，按进度、有计划地进行文明施工，控制扬尘。

⑦设置进出车辆车轮冲洗池，进出车辆车轮经冲洗干净后，方可上路行驶，防止将泥土带入城市；材料堆放区堆放的材料须进行覆盖处理，短期内不占用的裸露地表也应及时进行覆盖或者绿化处理，尽量减少因项目建设新增的起尘量。

2、施工期的噪声污染防治对策措施

①合理安排施工组织方案。施工期合理安排施工时间，夜间 22:00～6:00 禁止施工；修建 2.5～3 米高的建筑隔声墙，采用密目网进行密闭施工。

②尽量采用低噪声机械，施工过程中还应经常对设备进行维修保养，避免因使用的设备性能差而使噪声增加的现象发生；合理选择高噪声场所位置，合理布设施工场地，挖掘机等高噪声设备应设置在远离敏感点以外的地方，对强噪声机械(如电锯等)设置在施工棚内，进行阻隔和屏蔽噪声；现场木工房、钢筋加工房等必须完全进行封闭性施工。

③门窗、预制构件、大部分钢筋的成品，半成品在工厂完成，减少施工场地内加工机械产生的噪声，如少量需现场钢筋加工的尽量安排在白天进行，避免夜间噪声扰民；浇砼时，尽量避免振动棒与模板和钢筋的接触；对钢管、模板、脚手架等构件装卸、搬运、架设时应轻拿轻放，严禁抛掷。

④施工现场指挥生产，应采用无线电对讲机，这样既可及时进行工作联络，又可减少施工场地噪声；加强现场运输车辆出入的管理，车辆进入现场禁止鸣笛，不得随意扔、丢，减少金属件的碰击声。

⑤在靠近敏感点附近的施工应调整施工时间，减少对敏感点的影响。尽量避免节假日施工，同时采用临时性降噪措施。

⑥建设方应特别加强对施工单位管理，材料堆放必须轻拿轻放，严禁抛掷，材料堆放和限运输时间严禁选择在夜间 22:00～6:00 时间段。

⑦加强对有敏感点附近的施工管理，合理制定施工计划。监理单位做好监理工作；建设单位应要求施工单位在现场张贴通告和投诉电话，建设单位在接到投诉电话后及时与当地生态环境主管部分联系，以便及时处理各种环境纠纷。

3、施工期固体废物处置及管理

①为减少回填土的堆放时间和堆放量，应精心组织施工，先后有序，后序施工点开挖的土方应作为先期施工点的回填土方，既减少了对环境的污染，又可节约工时和资金。

②回填方场周围应加护墙护板，防止雨水冲刷造成水土流失及堵塞排水管。

③主体工程施工和装饰工程施工产生的废弃物料等建筑垃圾应及时清运至市政指定的堆放场。施工单位应按照国家有关规定的有关建筑垃圾和工程渣土处置管理规定，与接纳单位签定环境卫生责任书，确保运输过程中保持路面整洁，施工单位应有

专人负责，对建筑垃圾的处置实施现场管理。 ④施工人员产生的生活垃圾均由市政环卫部门清运统一处置。 ⑤在工程竣工以后，施工单位应同时拆除各种临时施工设施，并负责将工地的剩余建筑垃圾、工程渣土处理干净，做到“工完、料尽、场地清”。建设单位应负责督促施工单位的固体废物处置清理工作。 ⑥不占用或者短时间内不占用地表应进行覆盖，防治水土流失；施工完成后应当及时进行绿化或硬化，尽快完成施工后场地恢复。 4、施工期地表水污染防治措施 为了减小施工期间废水对周围环境的影响，还需采取以下措施： ①严格按照施工方案进行围栏施工，施工场地进行打围作业； ②施工期间严禁泥沙、施工废水等进入地表水，施工废渣应当运至市政指定的废渣堆放场进行处置，不得随意倾倒，确保不对表水水体产生污染； ③施工生产废水须集中收集，经沉淀池处理，可回用于车轮冲洗、设备清洗、抑尘用水等，不得外排，采取上述措施后对区域内的地表水不会产生显著影响。 医院强化施工期环境管理，严格落实施工期各项环保措施，采取有效措施，尽可能减缓施工期对环境产生的影响。

运行阶段对环境的影响

一、15MV 医用直线加速器诊疗项目环境影响分析

本项目拟购的 3 台 15MV 医用直线加速器 X 射线能量为 15MV，电子能量可达 22MeV。医用直线加速器属于Ⅱ类射线装置，在营运中的主要危害有 X 射线、电子线、中子、感生放射性。治疗室内的空气还会受 X 射线作用电离而产生臭氧和氮氧化物，氮氧化物的产量仅为臭氧的十分之一，故本报告表中不对其进行评述。此外，采用排风机强制换气，产生噪声。 下面就 15MV 医用直线加速器运营中产生的 X 射线、电子线、中子、感生放射性、臭氧等的影响进行预测评价。 （一）15MV 医用直线加速器 X 射线环境影响分析 1、加速器治疗室主屏蔽区宽度校核

15MV 医用直线加速器主屏蔽区包括北侧墙体、南侧墙体、顶部、底部，加速器主射线的最大出束角度为 28°。由于本项目 3 台 15MV 直线加速器技术参数均一致，治疗室结构设计均一致，工作负荷亦一致，故选择位于中间的 2#加速器治疗室为代表进行主屏蔽区宽度校核。主屏蔽宽度校核结果见表 11-1。

表 11-1 本项目 15MV 加速器机房主屏蔽区宽度校核表

焦点距主屏蔽区距离(m)	主屏蔽区宽度计算值(m)	主屏蔽区宽度设计值(m)	结论
距北侧主屏蔽墙体 5.35	$2 \times (5.35 \tan 14^\circ + 0.3) = 3.27$	4.00	满足要求
距南侧主屏蔽墙体 5.35	$2 \times (5.35 \tan 14^\circ + 0.3) = 3.27$	4.00	满足要求
距顶部主屏蔽墙体 3.85	$2 \times (3.85 \tan 14^\circ + 0.3) = 2.52$	4.00	满足要求
距底部主屏蔽墙体 4.20	$2 \times (4.2 \tan 14^\circ + 0.3) = 2.69$	4.00	满足要求

设备厂家和建设单位在进行医用直线加速器安装时，必须严格按照既定的摆位方式进行安装，杜绝安装后主射方向超出主屏蔽范围的情况出现。由表 11-1 可知，1#、2#、3#加速器治疗室的主屏蔽区设计宽度满足要求。

2、15MV 医用直线加速器机房关注点设立及剂量率参考水平

(1) 加速器治疗室关注点设立

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)，本项目医用直线加速器治疗室建在第二住院楼一层，下方设有车库，需对加速器治疗室四周、顶部、底部墙体外的关注点给予考虑。

(2) 剂量率参考水平

根据《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)，加速器迷道门处、控制室和加速器机房墙体外 30cm 处，周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，故本次 15MV 医用直线加速器治疗室外各关注点的剂量率参考控制水平均为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

3、医用直线加速器屏蔽设计

3间医用直线加速器治疗室均由主体、迷路、防护门组成，治疗室主体内径均为 8000mm×7000mm×4000mm，迷路内径宽均为2000mm，治疗室入口宽均为2000mm，防护门采用铅板和含硼聚乙烯材料。1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室东侧设有“L”型迷路，迷路墙厚1500mm，外墙厚1300mm；北侧主屏蔽墙厚3150mm、宽4000mm，次屏蔽墙厚1950mm；南侧主屏蔽墙厚3150mm、宽4000mm，次屏蔽墙厚1950mm；西侧墙厚1800mm；顶部主屏蔽墙厚3150mm、宽4000mm，次屏蔽墙厚1950mm；底部主屏蔽墙厚3000mm、宽4000mm，次屏蔽墙厚1800mm；防

护门为17mm 铅当量+100mm 含硼聚乙烯单扇电动推拉门。

X射线能量为6/10/15MV，最大输出剂量率为24Gy/min，电子线能量为4~22MeV，最大照射野40cm×40cm，SAD=100cm，设备等中心点距西墙3.7m，距南北主屏蔽墙4m，离地高度为1.3m。

(1) 加速器治疗室关注点

1#加速器治疗室：

A₁点：北侧主屏蔽墙外30cm处，走廊；
B₁点：北侧副屏蔽墙外30cm处，走廊；
C₁点：迷道外墙外30cm处，控制室；
D₁点：迷道外墙外30cm处，水冷机房；
E₁点：南侧副屏蔽墙外30cm处，室外道路；
F₁点：南侧主屏蔽墙外30cm处，室外道路；
G₁点：西侧墙外30cm处，大厅；
O₁点：治疗室迷路入口处（内侧）；
I₁点：顶棚主防护墙上方30cm处，平台；
J₁点：顶棚副防护墙上方30cm处，平台；
K₁点：底板主防护墙上方30cm处，车库；
L₁点：底板副防护墙上方30cm处，车库；
M₁点：治疗室迷路入口处（外侧）。

2#加速器治疗室：

A₂点：北侧主屏蔽墙外30cm处，走廊；
B₂点：北侧副屏蔽墙外30cm处，走廊；
C₂点：迷道外墙外30cm处，水冷机房；
D₂点：迷道外墙外30cm处，控制室；
E₂点：南侧副屏蔽墙外30cm处，室外道路；
F₂点：南侧主屏蔽墙外30cm处，室外道路；
G₂点：西侧墙外30cm处，控制室；
O₂点：治疗室迷路入口处；
I₂点：顶棚主防护墙上方30cm处，平台；

J₂点：顶棚副防护墙上方30cm处，平台；

K₂点：底板主防护墙上方30cm处，车库；

L₂点：底板副防护墙上方30cm处，车库；

M₂点：治疗室迷路入口处（外侧）。

3#加速器治疗室：

A₃点：北侧主屏蔽墙外30cm处，走廊；

B₃点：北侧副屏蔽墙外30cm处，走廊；

C₃点：迷道外墙外30cm处，水冷机房；

D₃点：迷道外墙外30cm处，控制室；

E₃点：南侧副屏蔽墙外30cm处，室外道路；

F₃点：南侧主屏蔽墙外30cm处，室外道路；

G₃点：西侧墙外30cm处，控制室；

O₃点：治疗室迷路入口处；

I₃点：顶棚主防护墙上方30cm处，平台；

J₃点：顶棚副防护墙上方30cm处，平台；

K₃点：底板主防护墙上方30cm处，车库；

L₃点：底板副防护墙上方30cm处，车库；

M₃点：治疗室迷路入口处（外侧）。

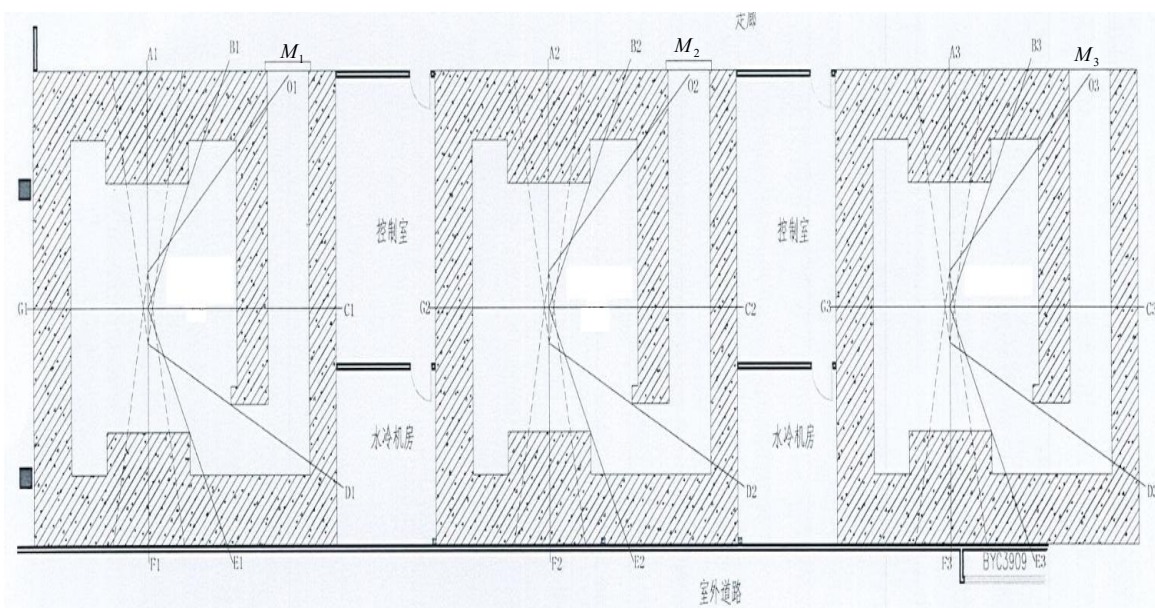


图11-1 医用直线加速器治疗室平面参考布点图

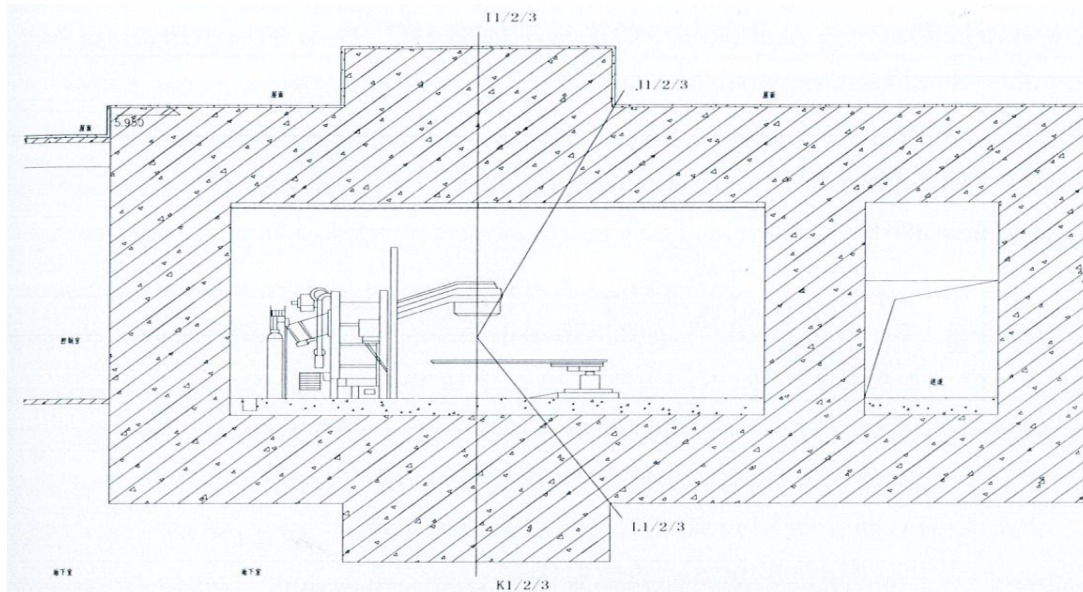


图11-2 医用直线加速器治疗室剖面参考布点图

(2) 屏蔽墙体计算方法

计算方法选用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）附录F后装治疗机房屏蔽计算方法和《建设项目职业病危害放射防护评价规范 第2部分：放射治疗装置》（GBZ/T220.2-2009）附录D放射治疗机房屏蔽墙及防护门的一般核算方法。

主射线和漏射线计算方法：

$$B = \frac{He}{H_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots (式 11-1)$$

$$Xe = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots (式 11-2)$$

$$X_1 = Xe \cos \theta \dots\dots\dots (式 11-3)$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

He—剂量率参考控制水平，μSv/h；

H₀—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv.m²/h；本项目为 1.44×10⁹μSv.m²/h（最高剂量率为 24Gy/min）；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—有用束；

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

TVL₁ (cm) 和 TVL (cm) —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度；

X_e—墙体有效屏蔽厚度，cm；

X₁—墙体屏蔽厚度，cm。

散射线计算方法：

根据 GBZ/201.2-2011，对于与主屏蔽区相连的次屏蔽区应考虑泄漏辐射和患者的一次散射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。泄漏辐射所需厚度按照式 11-1、11-2、11-3 进行计算，散射辐射的透射因子按式 11-4 进行计算，(TVL₁ (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。

$$B_1 = \frac{H_e \times R^2}{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots \text{式(11-4)}$$

式中： α_{ph} —患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

(3) 屏蔽墙体校核参数选取

根据医院提供的资料，每台设备每天治疗工作量为 60 人，每周 5d，每年工作 50 周，患者治疗照射出束时间为 2~3min，年治疗出束时间为 700h。对于主防护墙，屏蔽防护计算只考虑主射线照射情况下的防护；对于次防护墙，则需考虑漏射线和病人一次散射情况下的防护。对于考虑漏射和散射的复合屏蔽区，以瞬时剂量率控制水平的一半（即 1.25μSv/h）作为导出剂量率参考控制水平进行估算。对于迷路入口（O₁、O₂、O₃）以 2.5μSv/h 剂量率控制时，穿过迷路内墙在入口处的泄露辐射剂量率应小于其 1/5，取 0.5μSv/h 作为导出剂量率参考控制水平进行估算。机房周围设计参数见表 11-2 和 11-3。

表11-2 15MV X射线束在混凝土中TVL值表

射线束	有用束		泄露辐射		30°人体散射	60°人体散射	90°人体散射
十分之一衰减厚度	TVL ₁	TVL	TVL ₁	TVL	TVL	TVL	TVL
砼厚度，cm	44	41	36	33	31	26	23

表11-3 15MV X射线医用加速器治疗室屏蔽校核相关参数表

关注点	R(m)	f/α _{ph}	H ₀ (μSv.m ² /h)	H _e (μSv/h)	斜射角θ (°)
-----	------	-------------------	--	------------------------	----------

A ₁ 、A ₂ 、A ₃	7.3	1	1.44×10 ⁹	2.5	0°
B ₁ 、B ₂ 、B ₃	7.5	漏射10 ⁻³	1.44×10 ⁹	1.25	28°
		散射1.35×10 ⁻³			
C ₁ 、C ₂ 、C ₃	9.7	10 ⁻³	1.44×10 ⁹	2.5	0°
D ₁ 、D ₂ 、D ₃	8.2	10 ⁻³	1.44×10 ⁹	2.5	28°
G ₁ 、G ₂ 、G ₃	5.5	10 ⁻³	1.44×10 ⁹	2.5	0°
E ₁ 、E ₂ 、E ₃	7.5	漏射10 ⁻³	1.44×10 ⁹	1.25	28°
		散射1.35×10 ⁻³			
J ₁ 、J ₂ 、J ₃	5.5	漏射10 ⁻³	1.44×10 ⁹	1.25	28°
		散射1.35×10 ⁻³			
I ₁ 、I ₂ 、I ₃	5.8	1	1.44×10 ⁹	2.5	0°
F ₁ 、F ₂ 、F ₃	7.3	1	1.44×10 ⁹	2.5	0°
L ₁ 、L ₂ 、L ₃	4.0	漏射10 ⁻³	1.44×10 ⁹	1.25	28°
		散射1.35×10 ⁻³			
K ₁ 、K ₂ 、K ₃	6.0	1	1.44×10 ⁹	2.5	0°
O ₁ 、O ₂ 、O ₃	8.2	10 ⁻³	1.44×10 ⁹	0.5	28°

表11-4 加速器治疗室验证计算厚度和屏蔽设计厚度对照表

关注点	cosθ	B	X _e (cm)	验证计算 厚度 (mm)	计算厚 度 (mm)	综合厚 度 (mm)	设计厚 度 (mm)	关注点
A ₁ 、A ₂ 、A ₃	1	9.25×10 ⁻⁸	2914	初始射线	2914	2914	3150	满足设计要求
		—	—	泄露射线	—			
		—	—	患者散射	—			
B ₁ 、B ₂ 、B ₃	0.866	—	—	初始射线	—	1354	1950	满足设计要求
		4.88×10 ⁻⁵	1453	泄露射线	1258			
		9.04×10 ⁻⁶	1564	患者散射	1354			
C ₁ 、C ₂ 、C ₃	1	—	—	初始射线	—	1280	2800	满足设计要求
		1.63×10 ⁻⁴	1280	泄露射线	1280			
		—	—	患者散射	—			
D ₁ 、D ₂ 、D ₃	0.866	—	—	初始射线	—	1149	1300	满足设计要求
		1.17×10 ⁻⁴	1327	泄露射线	1149			
		—	—	患者散射	—			
G ₁ 、G ₂ 、G ₃	1	—	—	初始射线	—	1442	1800	满足设计要求
		5.25×10 ⁻⁵	1442	泄露射线	1442			
		—	—	患者散射	—			
E ₁ 、E ₂ 、E ₃	0.866	—	—	初始射线	—	1354	1950	满足设计要求
		4.88×10 ⁻⁵	1453	泄露射线	1258			
		9.04×10 ⁻⁶	1564	患者散射	1354			
J ₁ 、J ₂ 、J ₃	0.866	—	—	初始射线	—	1426	1950	满足设计要求
		2.63×10 ⁻⁵	1541	泄露射线	1335			
		4.86×10 ⁻⁶	1647	患者散射	1426			
I ₁ 、I ₂ 、I ₃	1	2.92×10 ⁻⁸	2919	初始射线	2919	2919	3150	满足设计要求

		—	—	泄露射线	—			
		—	—	患者散射	—			
F ₁ 、F ₂ 、F ₃	1	9.25×10 ⁻⁸	2877	初始射线	2877	2877	3150	满足设计要求
		—	—	泄露射线	—			
		—	—	患者散射	—			
L ₁ 、L ₂ 、L ₃	0.866	—	—	初始射线	—	1501	1800	满足设计要求
		1.39×10 ⁻⁵	1733	泄露射线	1501			
		2.57×10 ⁻⁶	1708	患者散射	1479			
K ₁ 、K ₂ 、K ₃	1	6.25×10 ⁻⁷	2574	初始射线	2574	2574	3000	满足设计要求
		—	—	泄露射线	—			
		—	—	患者散射	—			
O ₁ 、O ₂ 、O ₃	0.866	—	—	初始射线	—	1350	1500	满足设计要求
		2.33×10 ⁻⁵	1559	泄露射线	1350			
		—	—	患者散射	—			

由表11-4可知，经过对1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室主屏蔽体宽度校核，其墙体厚度、迷道厚度、顶部厚度和防护门厚度均满足设计要求。

（4）电子直线加速器对关注点产生的剂量估算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），本项目医用电子直线加速器在运行过程中对关注点处人员产生的最大剂量可根据以下公式进行计算：

主射线束和泄露辐射剂量估算（式中各符号含义同前文）：

$$H = \frac{H_0 \times f}{R^2} \times B \dots\dots\dots (11-5)$$

$$B = 10 \exp \left(-(Xe + TVL - TVL_1) / TVL \right) \dots\dots\dots (11-6)$$

$$Xe = X / \cos \theta \dots\dots\dots (11-7)$$

患者一次散射辐射剂量估算

$$H = \frac{H_0 \alpha_{ph}(F/400)}{R^2} B \dots\dots\dots (11-8)$$

机房迷路入口处 X 射线散射辐射剂量率 H_g

$$H_g = \frac{\alpha_{ph}(F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \dots\dots\dots (11-9)$$

$$H = H_g 10^{-(X+TVL)} + H_{og} \dots\dots\dots (11-10)$$

由式 11-11 估算各关注点的年剂量：

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \times U \dots\dots\dots (11-11)$$

式中：

H—关注点的剂量当量（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

E—关注点的年剂量（ mSv/a ）；

h—工作负荷（ h/a ）；

q—居留因子，经常有人员停留的地方取 1，有部分时间有人员停留的地方取 1/4，偶然有人员经过的地方取 1/16；

U—利用因子，主射束四个方位各取1/4，其它漏射、散射取1；

W_T —组织权重因数，全身为 1。

由此估算的主射线束对各个关注点产生的剂量见表 11-5，漏射辐射对各个关注点产生的剂量见表 11-6，散射辐射对各个关注点产生的剂量见 11-7，机房迷路入口处由散射辐射产生的剂量见表 11-8。

表 11-5 加速器主射线束对关注点的剂量估算表

计算参数	A ₁ 、A ₂ 、A ₃	I ₁ 、I ₂ 、I ₃	F ₁ 、F ₂ 、F ₃	K ₁ 、K ₂ 、K ₃
设计屏蔽体厚度 X (cm)	315	315	315	300
斜射角 θ	0°	0°	0°	0°
Xe (cm)	315	315	315	300
TVL1 (cm)	44	44	44	44
TVL (cm)	41	41	41	41
透射因子 B	2.46×10^{-8}	2.46×10^{-8}	2.46×10^{-8}	5.70×10^{-8}
H ₀ ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
f	1	1	1	1
R (m)	7.3	5.8	7.3	6.0
剂量当量 H ($\mu\text{Sv/h}$)	6.64×10^{-1}	1.051	6.64×10^{-1}	2.64×10^{-2}
工作负荷 (h)	700	700	700	700
居留因子 (q)	1	1/16	1/4	1/16
利用因子	1/4	1/4	1/4	1/4
年剂量 E (mSv/a)	2.90×10^{-2}	1.64×10^{-3}	4.15×10^{-3}	2.28×10^{-3}
受照类型	公众	公众	公众	公众

表 11-6 加速器漏射辐射对关注点的剂量估算表

计算参数	B ₁ 、B ₂ 、B ₃	C ₁ 、C ₂ 、C ₃	D ₁ 、D ₂ 、D ₃	G ₁ 、G ₂ 、G ₃	E ₁ 、E ₂ 、E ₃	J ₁ 、J ₂ 、J ₃	L ₁ 、L ₂ 、L ₃	O ₁ 、O ₂ 、O ₃
设计屏蔽体厚度 X (cm)	195	280	130	180	195	195	190	150

斜射角 θ	28°	0°	28°	0°	28°	28°	28°	28°
Xe (cm)	225	280	150	180	225	225	219	173
TVL1 (cm)	36	36	36	36	36	36	36	36
TVL (cm)	33	33	33	33	33	33	33	33
透射因子 B	1.87×10^{-7}	4.04×10^{-9}	3.51×10^{-5}	4.33×10^{-6}	1.85×10^{-7}	1.85×10^{-7}	2.77×10^{-7}	6.52×10^{-6}
H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
f	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}
R (m)	7.5	9.7	8.2	5.5	7.5	5.5	4.0	8.2
剂量当量 $H(\mu\text{Sv/h})$	4.80×10^{-3}	6.8×10^{-5}	7.50×10^{-1}	2.06×10^{-1}	1.18×10^{-6}	2.20×10^{-6}	2.49×10^{-5}	1.49×10^{-4}
工作负荷 (h)	700	700	700	700	700	700	700	700
居留因子 (q)	1/4	1	1	1	1/4	1/4	1/4	1/4
利用因子	1	1	1	1	1	1	1	1
年剂量 $E(\text{mSv/a})$	8.39×10^{-4}	6.18×10^{-6}	7.52×10^{-2}	2.06×10^{-2}	2.96×10^{-5}	5.51×10^{-5}	6.23×10^{-4}	3.72×10^{-3}
受照类型	公众	职业人员	职业人员	职业人员	公众	公众	公众	公众

表 11-7 加速器机房患者一次散射对关注点的剂量估算表

计算参数	B_1 、 B_2 、 B_3	E_1 、 E_2 、 E_3	J_1 、 J_2 、 J_3	L_1 、 L_2 、 L_3
屏蔽厚度 X (cm)	195	195	195	190
斜射角 θ	28°	28°	28°	28°
Xe (cm)	225	225	225	219
TVL (cm)	33	33	33	33
透射因子 B	5.52×10^{-9}	5.52×10^{-9}	5.52×10^{-9}	8.62×10^{-9}
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
α_{ph}	1.35×10^{-9}	1.35×10^{-9}	1.35×10^{-9}	1.35×10^{-3}
F(cm^2)	40×40	40×40	40×40	40×40
R (m)	7.5	7.5	5.5	4.0
剂量当量 $H(\mu\text{Sv/h})$	7.631×10^{-4}	7.631×10^{-4}	1.419×10^{-3}	4.189×10^{-3}
工作负荷 (h)	700	700	700	700
居留因子 (q)	1/4	1/4	1/4	1/4
利用因子	1	1	1	1
年剂量 $E(\text{mSv/a})$	1.34×10^{-4}	1.34×10^{-4}	2.48×10^{-4}	7.31×10^{-4}
受照类型	公众	公众	公众	公众

表 11-8 加速器机房迷路入口处由散射辐射产生的剂量估算表

计算参数	机房迷路入口处 (防护门外、关注点 M)
机房入口处的散射辐射剂量率 H_g ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5
屏蔽厚度 X (mm)	17
剂量当量 $H(\mu\text{Sv/h})$	3.70×10^{-3}

TVL (mm)	6
工作负荷 (h)	700
居留因子 (m)	1/16
关注点年剂量(mSv/a)	1.62×10^{-4}

对于加速器治疗室北侧副屏蔽墙外 (B_1 、 B_2 、 B_3)、南侧副屏蔽墙外 (E_1 、 E_2 、 E_3)、顶部副屏蔽墙外 (J_1 、 J_2 、 J_3)、底部副屏蔽墙外 (L_1 、 L_2 、 L_3) 既要受 X 射线漏射影响, 亦要受机房患者一次散射影响, 通过剂量叠加得到上述关注点的最终年剂量如下表所示:

表 11-9 B、E、J、L 关注点剂量叠加结果表

计算参数	与主屏蔽区相连的次屏蔽区			
	B_1 、 B_2 、 B_3	E_1 、 E_2 、 E_3	J_1 、 J_2 、 J_3	L_1 、 L_2 、 L_3
漏射影响(mSv/a)	8.39×10^{-4}	2.96×10^{-5}	5.51×10^{-5}	6.23×10^{-4}
散射影响(mSv/a)	1.34×10^{-4}	1.34×10^{-4}	2.48×10^{-4}	7.31×10^{-4}
年剂量(mSv/a)	9.73×10^{-4}	1.64×10^{-4}	1.64×10^{-4}	1.35×10^{-3}
受照类型	公众	公众	公众	公众

通过表 11-4 至 11-9 可知, 通过加速器治疗室的实体防护后, 照射类型为职业人员的年剂量最大为 $7.52 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$, 其中东侧控制室人员所受年剂量为 $6.18 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$; 照射类型为公众的年剂量最大为 $2.90 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$, 分别低于 5.0mSv 和 0.1mSv 的年剂量约束。

(5) 加速器治疗室防护门屏蔽计算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分: 一般原则》第4.7.4条规定: 对于大于10MV的X射线治疗机房, 迷路入口的防护门应同时考虑X射线和“杂散”中子的散射辐射及中子俘获 γ 射线。根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》第6.1.5条规定: X射线能量超过10MV的加速器, 屏蔽设计应考虑中子辐射防护。该项目拟购置的医用直线加速器产生的最大X射线能量为15MV, 治疗室防护门需要考虑中子的辐射防护问题, 该项目医用直线加速器均为L型迷路。

对于高能医用电子直线加速器, 迷道外入口处剂量一般由三部分组成: 一是中子俘获 γ 射线剂量, 二是X射线泄漏和散射辐射剂量, 三是中子剂量, 计算过程如下:

①俘获 γ 射线剂量估算

在迷道内的俘获 γ 射线剂量取决于迷道长度和迷道内入口的总中子注量, 总中子注量由下式计算:

$$\Psi_M = Q_N / 4\pi d_1^2 + 5.4Q_N / 2\pi S + 1.26Q_N / 2\pi S$$

$$\Psi_M = 8 \times 10^{10} / (4\pi \times 6.3^2) + 5.4 \times 8 \times 10^{10} / (2\pi \times 290) + 1.26 \times 8 \times 10^{10} / (2\pi \times 290) = 4.53 \times 10^8$$

式中： Ψ_M —迷道内入口的总中子注射量；

Q_N —迷道内入口的总中子注射量；

d_1 —等中心到迷道内入口的距离；

S —治疗室内表面总面积；

在迷道外入口处中子俘获 γ 射线剂量率由下式计算：

$$H_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Psi_M \cdot 10^{-(d_2/TVD)} \cdot H_0$$

$$H_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot 4.53 \times 10^8 \cdot 10^{-(11/3.9)} \cdot 1.44 \times 10^9 = 0.68 \mu\text{Gy}/h$$

式中： d_2 —迷道内入口至迷路外入口距离；

TVD—将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离；

H_0 —等中心点处X射线剂量率。

②迷道外入口处中子剂量估算

治疗室内的中子经迷道散射后在治疗室入口处无防护门时的剂量率 $H_n(\mu\text{Gy}/h)$

由下式计算：

$$H_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Psi_M \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)}] \cdot H_0$$

$$H_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot 4.53 \times 10^8 \cdot \sqrt{\frac{8}{8}} \cdot \sqrt{\frac{8}{4.4}} \cdot [1.64 \times 10^{-(11/1.9)} + 10^{-(11/5.83)}] \times 1.44 \times 10^9 = 27.4 \mu\text{Gy}/h$$

式中： S_0 —迷道内入口截面积；

S_1 —迷道横截面积；

S_2 —迷道外入口截面积；

d_2 —迷道内入口至迷道外入口距离；

T_n —迷道中能量相对高的中子剂量衰减至十分之一行径的距离，是经验值，与迷

道横截面积有关， $T_1 = 2.06\sqrt{S_1}$ 。

③泄漏辐射和散射辐射的剂量估算

$$Hd = 2.64 \bullet (H_{ps} + f \times H_s + H_{LS} + H_{LH})$$

式中： H_d —迷道外入口处泄漏和散射辐射剂量率；

H_{ps} —迷道外入口处病人散射辐射剂量率；

f —病人透射因子；

H_s —迷道外入口处墙体散射辐射剂量率；

H_{LS} —迷道处入口处机头泄漏线的墙体散射辐射剂量率；

H_{LH} —迷道外入口处机头泄漏散射辐射剂量率；

$$H_{ps} = H_0 \times \alpha \times (F / 400) \times (\alpha_1 \times A_1) \times (\alpha_2 \times A_2) \div (d_{sca} \times d_1 \times d_2)^2$$

$$H_{ps} = 1.44 \times 10^9 \times 1.35 \times 10^{-3} \times 4 \times (22 \times 10^{-3} \times 6.6) \div 4802 = 235 \mu Gy / h$$

式中： α —患者受照射面积400cm²的散射因子；

α_1 —迷道内入口墙体散热系数；

A_1 —迷道内入口散热面积；

d_{sca} —靶中心至体表散射点距离；

d_1 —体表散射点至迷道内入口距离；

d_2 —迷道内入口至迷道外入口距离。

$$H_s = H_0 \times \alpha_0 \times A_0 \times \alpha_4 \times A_4 \div (d_4 \times d_5 \times d_6)^2$$

$$H_s = 1.44 \times 10^9 \times 2.1 \times 10^{-3} \times 2 \times 13 \times 10^{-3} \times 4.3 \div (4.5 \times 7.8 \times 9.7)^2 = 3.3 \mu Gy / h$$

式中： α_0 —主防护墙散射系数；

A_0 —主防护墙散射面积；

α_4 —迷道内入口二次散射点散射系数；

d_4 —靶中心到主防护墙最近距离；

d_5 —主防护墙至迷道内入口二次散射点距离；

d_6 —迷道内入口二次散射点至迷道外入口距离。

$$H_{LS} = \eta \times H_0 \times \alpha_6 \times A_6 \div (d_1 \times d_2)^2$$

$$H_{LS} = 0.001 \times 1.44 \times 10^9 \times 5.1 \times 10^{-3} \times 9.6 \div (6.3 \times 11)^2 = 10.3 \mu\text{Gy} / h$$

式中： α_6 —迷道内入口墙体漏射线散射系数；

A_1 —迷道内入口散射面积；

α_4 —迷道内入口二次散射点散射系数；

d_1 —靶中心至迷道内入口的距离；

d_2 —迷道内入口至迷道外入口距离。

$$H_{LH} = \eta \times H_0 \times B \div d_7^2$$

$$H_{LH} = 10^{-3} \times 1.44 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \div 12^2 = 0.04 \mu\text{Gy} / h$$

式中： B —迷道的泄漏辐射屏蔽透射因子；

d_7 —靶中心至迷道外入口距离。

$$H_d = 2.64(H_{PS} + f \times H_S + H_{LS} + H_{LH}) = 2.64(235 + 0.33 \times 3.3 + 10.3 + 0.04) = 650.6 \mu\text{Gy} / h$$

加速器治疗室防护门的屏蔽计算结果：

$$X = TVL \bullet \log \frac{H_{\text{未屏蔽}}}{H_{\text{控制}}}$$

$$H_{\text{未屏蔽}} = H_\gamma + H_d = 6.44 + 650.6 = 651.28 \mu\text{Gy} / h$$

$$H_{\text{控制}} = 2.5 - H_{LH} = 2.5 - 0.04 = 2.46 \mu\text{Gy} / h$$

注：TVL（铅）取6mm，含硼聚乙烯取45mm。

由上述公式计算得出该项目加速器治疗室防护门厚度为14.5mmPb+88mm含硼聚乙烯，设计值为17mmPb+100mm含硼聚乙烯，屏蔽防护门满足辐射防护要求。

（二）电子的环境影响分析

本项目 15MV 医用直线加速器在按电子模式工作时，最大电子线能量为 22MeV，

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源 (P_{95})，能量为 E (MeV) 的单能电子束，在低 Z 物质中的射程 (单位为 $g \cdot cm^{-2}$) 约为能量 (单位为 MeV) 的 0.6 倍。本项目 15MV 直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 22MeV，射程为 $22 \times 0.6 = 13.2 g/cm^2$ ，可以估算出 22MeV 的电子在密度为 $2.35 g/cm^3$ 的混凝土中的深度约为 5.6cm，而本项目屏蔽体厚度最小的亦为 130cm 混凝土，对能完全屏蔽电子线，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子模式产生的 X 射线的屏蔽。

(三) 中子的环境影响分析

本项目加速器有用线束直接投照的防护墙、屋顶按初级辐射屏蔽要求设计，防护门里侧贴一层 100mm 厚的硼聚乙烯吸收热中子。因此，本项目加速器产生的中子线对周围环境的影响很小。

(四) 感生放射性气体的环境影响分析

医用直线加速器在治疗中发出的电离辐射通过空气时，除产生臭氧和氮氧化物外，当辐射的能量达到或超过产生 (r,n) 反应的阈能时，空气中还会出现 ^{11}C 、 ^{13}N 和 ^{15}O 等放射性气体，其中核反应 $^{14}N(r,n)^{13}N$ 的阈能为 10.6MeV，所产生核素 ^{13}N 的半衰期为 10min；核反应 $^{16}O(r,n)^{15}O$ 的阈能为 15.7MeV，产生核素 ^{15}O 的半衰期为 124s；核反应 $^{12}C(r,n)^{11}C$ 的阈能为 18.7MeV，产生核素 ^{11}C 的半衰期为 20.5min。根据医院提供的信息，本项目使用的加速器最大电子能量为 22MeV，但医用直线加速器在使用过程中超过 18MeV 的概率较小，故在对加速器运营时所产生的放射性气体中，只对 ^{13}N 和 ^{15}O 两种气体的污染与治理作预测和分析。

加速器运营中产生的 ^{13}N 和 ^{15}O 两种放射性气体，均为正电子(β^+)核素。 ^{13}N 的 β^+ 最大能量为 1.190MeV，在空气中的射程为 3.52m。而 ^{15}O 的 β^+ 最大能量为 1.723MeV，在空气中的射程为 5.86m。它们均能与 β^- 发生“湮灭”反应而产生能量为 0.511MeV 的 γ 辐射。

加速器产生的 ^{13}N 和 ^{15}O 弥散于治疗室内，可能使职业人员的皮肤受到 β^+ 的浸没外照射；而职业人员全身还可能受由湮灭反应而产生的 γ 辐射的浸没外照射；至于吸入 ^{13}N 和 ^{15}O 后，也会对职业人员形成内照射。上述三种照射途径中，由于 ^{13}N 和 ^{15}O 所致内照射很弱，所致的各内照射剂量因子，在我国现行放射防护标准中未列出，相关文献也未见报导，故不对吸入 ^{13}N 和 ^{15}O 所致内照射剂量作预测和分析；由于 β^+ 单

独存在的时间很短，为千分之毫秒级，对环境产生的影响很小，故也不对职业人员皮肤受到 β^+ 的浸没外照射进行预测和分析，因此本报告表只对湮灭反应而产生的 γ 辐射浸没外照射进行预测和分析。

^{13}N 和 ^{15}O 的 β^+ 湮灭反应产生的 γ 辐射所致辐射效应属于随机性效应，其剂量约束值取 5mSv/a。弥散于治疗室内的放射性气体所形成的浸没照射，主要对治疗室内摆位的医生产生影响，所以本次评价仅考虑治疗室内医生摆位时所受的剂量。

加速器电子束流为0.1mA，加速器运行时间取3min，加速器治疗室通风量为900m³/h，每次开机后，5min再进行下一次治疗。因为产生的X射线是韧致辐射，其能谱是连续的，一般情况下，15MV加速器等能量份额取10%。 ^{13}N 的感生放射性生成率为4.1 mCi/s•mA•MeV， ^{15}O 的感生放射性生成率为5.16 mCi/s•mA•MeV，则医用直线加速器运行3min时 ^{13}N 和 ^{15}O 的产生量为：

$$^{13}\text{N} = 4.1 \times 180 \times 0.1 \times 22 \times 10\% \times 3.7 \times 10^7 \times 78\% = 4.69 \times 10^9 \text{ Bq}$$

$$^{15}\text{O} = 5.16 \times 180 \times 0.1 \times 22 \times 10\% \times 3.7 \times 10^7 \times 22\% = 1.66 \times 10^9 \text{ Bq}$$

经过5min后，工作人员进入治疗室对病人进行摆位，机房内通风量900m³/h，则5min时通风量为75m³。经过5min的衰减后， ^{13}N 为 $2.345 \times 10^9 \text{ Bq}$ ， ^{15}O 为 $5.19 \times 10^7 \text{ Bq}$ ，此时治疗室内 ^{13}N 的浓度为 $3.13 \times 10^7 \text{ Bq/m}^3$ ， ^{15}O 的浓度为 $6.92 \times 10^5 \text{ Bq/m}^3$ 。工作人员摆位时，在治疗室内停留2min受到的照射剂量为：

$^{13}\text{N} = 3.13 \times 10^7 \text{ Bq/m}^3 \times 4.3 \times 10^{-17} \text{ Sv/(Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}) \times 120\text{s} = 1.615 \times 10^{-7} \text{ mSv/次}$ ，每年摆位15000次，每台医用直线加速器由2名技师轮流进行摆位，则每名技师所受的年剂量为 $1.21 \times 10^{-3} \text{ mSv/a}$ ； $^{15}\text{O} = 6.92 \times 10^5 \text{ Bq/m}^3 \times 4.3 \times 10^{-15} \text{ Sv/(Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}) \times 120\text{s} = 3.57 \times 10^{-7} \text{ mSv/次}$ ，每年摆位15000次，每台医用直线加速器由2名技师轮流进行摆位，则每名技师所受的年剂量为 $2.68 \times 10^{-3} \text{ mSv/a}$ 。

综上所述，由于气态感生放射性对加速器治疗室工作人员造成的总照射剂量不超过 $3.89 \times 10^{-3} \text{ mSv/a}$ ，低于本次评价中确定 5mSv/a 的剂量约束值。

（五）臭氧的环境影响分析

加速器治疗室内空气中的氧受 X 射线电离而产生的臭氧，其产率和浓度可用下

面两个公式分别计算。

$$Q_0 = 6.5 \times 10^{-3} \cdot G \cdot S_0 \cdot R \cdot g \quad (11-12)$$

式中：Q₀—臭氧产率 mg/h；

G—射束在距离源点 1m 处的剂量率 Gy.m²/h，对于 15MV 直线加速器取 1440；

S₀—射束在距离源点 1m 处的照射面积 m²；

R—射束径迹长度 m；

g—空气每吸收 100eV 辐射能量产生 O₃ 的分子数，本项目取 10。

经计算，臭氧产率为 93.6mg/h。

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$C = Q_0 \cdot T_v / V \quad (11-13)$$

式中：

C—室内臭氧浓度，mg/m³；

Q₀—臭氧产额 mg/h；

T_v—臭气有效清除时间，0.18h；

V—治疗室空间体积，224m³；

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \quad (11-14)$$

t_v—每次换气时间，0.08h；

t_a—臭氧分解时间，取值为 0.83h。

若照射时间足够长，浓度均匀，结合本项目加速器的基本参数和工作室的几何尺寸，估算结果为：在 15MV 加速器治疗室内臭氧产率为 93.6mg/h。加速器治疗室每小时换气 4 次，若每次换气时间均为 5min，则加速器治疗室内的臭氧平衡浓度为 0.075mg/m³，远低于工作场所空气中 0.30mg/m³ 的臭氧最大允许浓度。通过通排风系统排入环境空气后，经稀释分解，其浓度低于 0.20mg/m³ 的环境空气二级标准的臭氧浓度限值，不会对环境造成危害。

由于 1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室中使用的医用直线加速器型号、能量、工作量及治疗室空间体积均相同，则其臭氧产率和臭氧平衡浓度也

相同，所以 1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室采用同样的通排风系统。1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室均设置上送风、下排风式的机械通风装置，进风口（2 个）设置在治疗室南侧天花板，排风口（2 个）拟设置在治疗室北侧墙角靠近地面处。通风管道由防护门上方靠近顶板处斜向进入加速器治疗室，并在管道安装好后使用铅皮封堵多余空隙。加速器治疗室容积约 224m³，通风换气次数 3~4 次，其机房有效排风量不小于 900m³。1#加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室、后装治疗室的排风管道汇集到一条总管，最终由放疗中心东侧的管道引至第二住院楼楼顶排放。

二、后装机的环境影响分析

（一） γ 射线的环境影响分析

¹⁹²Ir 放射源虽有 β 、 γ 两种辐射，但 β 射线在空气中的射程较短，经放射源的内包鞘和治疗机的相关设施屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故本次环评中重点分析 ¹⁹²Ir 产生的 γ 射线的环境影响问题。

后装机为一铸钢容器，内填充金属钨和贫化铀以及铅作防护材料，使源在容器内时其泄漏辐射符合国家标准要求。根据后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准（GBZ121-2017），后装治疗机贮源器内装载允许最大活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 50 μ Gy/h，距离贮源器 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 5 μ Gy/h。由此可见，当放射源处于贮存状态时，机体的漏射线经过屏蔽墙的屏蔽作用后，对机房外的人员几乎没有影响，因此本次评价不考虑后装机非工作状态下对机房外其他人员的影响，对于后装机治疗项目的评价分析如下：

1、后装机机房屏蔽防护设计及周围剂量计算

后装治疗机由主体、迷路、防护门组成，后装治疗室主体内径为 4350mm×5300mm×4550mm，治疗室迷路内径宽为1350mm，内入口宽1200mm，外入口宽为1200mm。后装治疗室东墙、南墙、北墙为800mm混凝土，西墙迷路内墙为 500mm混凝土，西墙迷路外墙为800mm混凝土，顶棚和底部为800mm混凝土，防护门为8mm铅当量。

后装治疗室使用的放射源为 ^{192}Ir ，放射源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，设备摆放在治疗室北侧。

后装机治疗状态下，放射源发出的 γ 射线穿过患者躯体后向周围散射。辐射防护屏蔽计算时，假设放射源全部被传送至施源器，从偏安全角度出发，将放射源视为点源和裸源进行防护计算。作为裸源时，没有固定的照射方向。根据医院提供的相关信息，后装治疗室参考布点图如图11-5、11-6所示。经分析，应关注以下各点：

- A点：南墙外30cm处，室外过道；
- B点：东墙外30cm处，室外过道；
- C点：北墙外30cm处，控制室；
- D点：防护门外30cm处，准备间；
- E点：西墙外30cm处，库房；
- F点：顶棚上方30cm处，屋顶平台；
- G点：底板下方30cm处，车库。

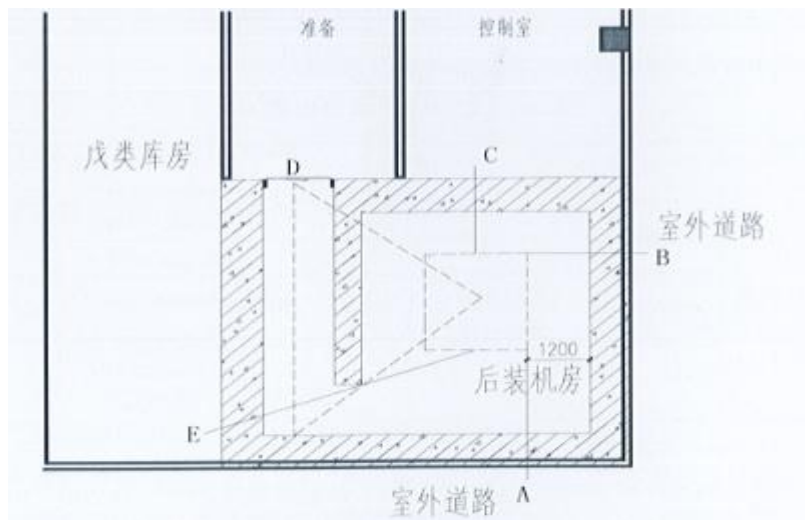


图11-3 后装治疗室平面图参考布点图

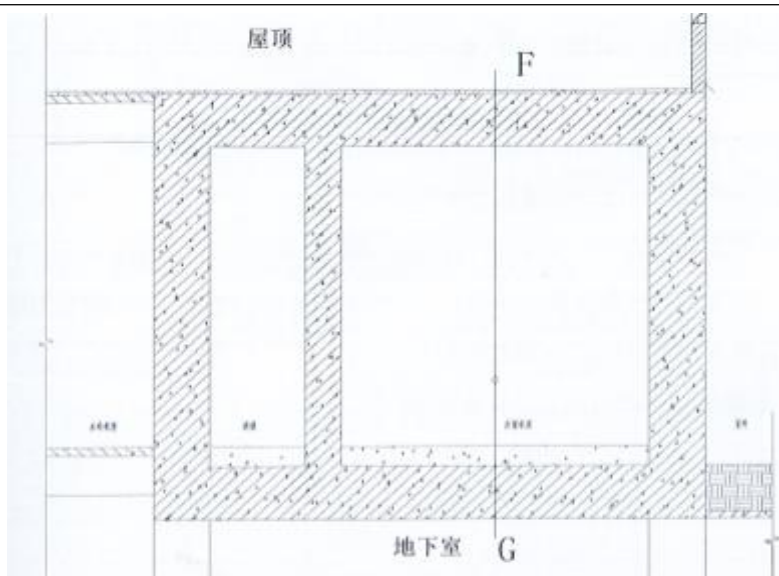


图11-4 后装治疗室剖面参考布点图

(1) 后装机屏蔽墙体计算方法

计算方法选用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）附录F后装治疗机房屏蔽计算方法和《建设项目职业病危害放射防护评价规范 第2部分：放射治疗装置》（GBZ/T220.2-2009）附录D放射治疗机房屏蔽墙及防护门的一般核算方法，计算公式如下：

$$X = TVL \left[\lg \left\{ \frac{\dot{H}_0}{\dot{H}_c} \cdot \frac{f}{R^2} \right\} \right] \quad (11-15)$$

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_r \quad (11-16)$$

式中：

X—符合剂量率目标要求的屏蔽厚度，单位mm；

TVL—辐射在屏蔽物质中的什值层厚度，单位mm， ^{192}Ir 射线源产生的 γ 射线束在屏蔽物质中TVL值，TVL（铅）的16mm，TVL（混凝土）的152mm；

f—对有用线束为1；

R—放射源至关注点的距离，单位为m；

A—放射源活度，该项目 ^{192}Ir 后装机装源活度为 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ ；

K_r —放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量率作为空气比释动能率，单位为 $\mu\text{Sv}/(\text{hMBq})$ ，该项目 ^{192}Ir 的空气比释动能率常数为 $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{hMBq})$ 。

(2) 屏蔽墙体参数的选取及计算结果

工作量：治疗人数平均每周30人次，全年为1500人次，装源活度 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 时，平均每位患者的治疗照射时间为6min，年治疗照射时间为150h。后装治疗室验证计算厚度和屏蔽设计厚度对照情况见表11-10，后装治疗室设计厚度关注点处剂量结果见表11-11。

表11-10 后装治疗室验证计算厚度和屏蔽设计厚度对照情况表

关注点	剂量率控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点距源距离 (m)	验证计算厚度	设计厚度	评价
A	2.5	3.1	492mm	800mm混凝土	满足计算要求
B	2.5	2.3	531mm	800mm 混凝土	满足计算要求
C	2.5	2.1	542mm	800mm 混凝土	满足计算要求
E	2.5	5.5	416mm	800mm 混凝土	满足计算要求
F	2.5	4.7	436mm	800mm 混凝土	满足计算要求
G	2.5	2.4	543mm	800mm 混凝土	满足计算要求

表11-11 后装治疗室设计厚度关注点处剂量情况表

关注点	墙体所在位置	设计厚度(mm)	关注点距源距离 (m)	剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量 (mSv/a)	年剂量限值 (mSv/a)
A	室外道路	800mm 混凝土	3.1	0.024	0.004	0.1
B	室外道路	800mm 混凝土	2.3	0.048	0.007	0.1
C	控制室	800mm 混凝土	2.1	0.051	0.008	5.0
E	库房	800mm 混凝土	5.5	0.007	0.001	0.1
F	屋顶平台	800mm 混凝土	4.7	0.010	0.002	0.1
G	车库	800mm 混凝土	2.4	0.039	0.006	0.1

由表11-10、11-11可知，本项目后装机治疗过程中产生的 γ 射线经治疗室的墙体、门屏蔽后，关注点所致职业人员最大年剂量为0.008mSv，低于本次确定的5mSv/a剂量约束值；公众最大年剂量为0.007mSv，低于本次确定的0.1mSv/a剂量约束值。对后装治疗室墙体屏蔽性能校核结果表明，治疗室的各墙体厚度的设计均大于校核厚度，按此设计建造的治疗室，足以屏蔽后装机运营中所产生的 γ 射线，符合相关标准要求。

(3) 后装治疗室防护门屏蔽计算

后装治疗室内放射源发射的 γ 射线通过迷路散射至机房入口 g 产生的散射辐射剂量率 $\dot{H}$ ，计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{A \bullet K_r \bullet S_w \bullet a_w}{R_1^2 \bullet R_2^2} \quad (11-17)$$

$$H_R = \dot{H} \times R^{-2} \times 10^{-X/TVL} \quad (11-18)$$

式中：

S_w —迷路内入口墙散射面积， $S_w=6.5\text{m}^2$ ；

a_w —迷路内入口墙的散射系数， 3.5×10^{-2} ；

R_1 —放射源到散射面中心点的距离，取4.8m；

R_2 —散射面中心点至机房入口g的距离，取6.1m；

R —机房入口至机房外的距离，取0.8m；

迷路内机房入口散射剂量率为 $10.9\mu\text{Sv/h}$ ，放射源直接通过迷路内墙斜射到门口的剂量率为 $0.698\mu\text{Sv/h}$ （距离取5.5m），考虑到机房外居留因子为1/16，经过计算，防护门需要4.1mm铅当量，该项目拟采用8mm铅当量防护门满足要求。

2、装源调试过程辐射环境影响分析

设备安装由专业人员完成，院方不得自行拆卸、安装设备。后装机安装和调试在治疗室内完成，后装机装源工作由厂家委派的工程师在治疗室内完成，院方工作人员不进入治疗室参与装源、换源工作，工作人员在后装机外维持秩序。设备安装调试时防护门关闭，机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近，操作人员必须持证上岗并采取足够安全的个人防护措施，确保各项屏蔽措施落实到位，人员离开时治疗室必须上锁并派人看守。在采取上述措施后，设备安装和调试工作环境可接受。

3、后装机非工作状态下（给病员摆位时）对职业人员的影响

在进行治疗前，职业人员将病员推入后装治疗室，并在治疗室内做治疗前的准备，在后装治疗室内停留时间为2min，此时后装机处于非工作状态，放射源处于贮源位置，职业人员一般距放射源大于1m左右的位置（现按1m计），按照医院每年有1500人接受该项目治疗，根据前文“距放射源1m的任何位置上，不大于 $5\mu\text{Gy/h}$ ”标准，可估算出职业人员在推送病员进入机房做治疗前准备过程中接受的年有效剂量为

0.25mSv/a，后装治疗项目有 2 名技师负责，则每名技师所受的年有效剂量为 0.125mSv/a。

（二）后装机运行时臭氧的产生和治理

后装治疗室内空气中的氧受 γ 射线电离而产生臭氧，假设治疗室为密闭，开机时间为 6min，则臭氧产生率按下式计算：

$$Q_0 = 6.2 \times 10^{-3} A G V^{1/3} \quad \dots\dots\dots (11-19)$$

式中：

Q—臭氧产生率，mg/h；

A—放射源活度，0.37TBq；

G—空气吸收 γ 射线能量产生臭氧分子数，对 γ 源取 10；

V—治疗室空间体积，104.9m³；

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$C = Q_0 \times T_v / V \quad \dots\dots\dots (11-20)$$

式中：

C—室内臭氧浓度，mg/m³；

Q₀—臭氧产额 mg/h；

T_v—臭气有效清除时间，h；

V—治疗室空间体积，104.9m³；

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \quad \dots\dots\dots (11-21)$$

式中：

t_v—每次换气时间，0.25h；

t_a—臭氧分解时间，取值为 0.83h。

由公式 11-19、11-20、11-21 计算，臭氧产额为 0.108mg/h，最终计算出的后装治疗室内臭氧浓度为 1.977×10⁻⁴ mg/m³，远低于工作场所空气中 0.30mg/m³ 的臭氧最大允许浓度。通过通排风系统排入环境空气后，经稀释分解，其浓度低于 0.20mg/m³ 的环境空气二级标准的臭氧浓度限值，不会对环境造成危害。

后装治疗室设有排风系统，进风管道在机房门上方穿墙进入后装治疗室，与 1#

加速器治疗室、2#加速器治疗室、3#加速器治疗室共用一根排气管道，连接至通风井，然后经排气筒将废气导至第二住院楼。每小时换气 4 次，每次换气 5min，排风量约 500m³/h。

（三）¹⁹²Ir 放射源的管理及废源处置

后装机所使用的 ¹⁹²Ir 放射源在不进行治疗时贮存于后装治疗室内的后装机圆柱形铅贮源器中，有良好的外屏蔽设施。

¹⁹²Ir 放射源半衰期为 74.2d，使用一定时间后，其活度不能满足放射治疗需要时，退役源应及时交由生产厂家回收处理，不得储存。更换放射源时，须向南充市生态环境局提交《放射性同位素转让审批表》，申请转入放射源。换源时，须委托有相应资质能力的单位进行处理，不得自行操作。

医院应对放射源有防盗、防火、防水、防丢失、防人为破坏、防射线泄露的措施。

三、核医学科工作场所的环境影响分析

本项目 PET-CT 检查拟使用核素 ¹⁸F、¹¹C 和 ⁶⁸Ga 作为显像剂，SPECT-CT 拟使用核素 ^{99m}Tc 和 ¹³¹I 作为显像剂。根据医院提供的资料，医院核医学科日等效最大操作量为 6.886×10⁸Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应参照 II 类密封型放射源工作场所的相关要求实施辐射安全管理。

根据项目工程分析，非密封放射性物质工作场所的污染特点是放射性核素可能释入环境，既有电离辐射污染，又可使仪器设备、环境等受到放射性污染，还可能产生放射性废气、放射性废水及放射性固体废物。

（一）核医学科工作场所周围辐射水平估算

1、屏蔽核算参数

核医学科订购的放射性药物对医务人员、公众、受检者亲属和陪护有潜在辐射，应对其采取屏蔽防护措施。放射性药物被受检者注射后，使受检者成为移动放射源，因此，受检者活动区域也是屏蔽防护重点。根据辐射源项分析可知，SPECT-CT 显

像使用 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 两种核素进行影像诊断，PET-CT 显像使用 ^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{68}Ga 三种核素进行影像诊断，屏蔽核算结果选取较大屏蔽厚度作为屏蔽厚度。根据医院提供的资料，本项目SPECT-CT工作场所采用 ^{131}I 进行校核，PET-CT工作场所采用 ^{11}C 进行校核，校核参数见表11-12。

表 11-12 核医学科工作场所屏蔽核算参数表

工作场所	核素	屏蔽计算采用核素活度 (MBq)	其余相关参数
分装室	^{131}I	185MBq	$f_{\text{I-131}}=0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ $f_{\text{C-11}}=0.136\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 1 人注射
	^{11}C	740MBq	
SPECT-CT 注射区	^{131}I	185MBq	$f_{\text{I-131}}=0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 1 人注射
SPECT-CT 候诊室	^{131}I	925MBq	$f_{\text{I-131}}=0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 5 人候诊
SPECT-CT 扫描室	^{131}I	185MBq	$f_{\text{I-131}}=0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 1 人检查
SPECT-CT 留观室	^{131}I	925MBq	$f_{\text{I-131}}=0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 5 人留观
PET-CT 注射区	^{11}C	740MBq	$f_{\text{C-11}}=0.136\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 1 人注射
PET-CT 扫描室	^{11}C	740MBq	$f_{\text{C-11}}=0.136\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 1人检查
PET-CT 候诊室	^{11}C	3700MBq	$f_{\text{C-11}}=0.136\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 5人候诊
PET/CT 留观室	^{11}C	3700MBq	$f_{\text{C-11}}=0.136\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 5人留观
储源室	^{99m}Tc	37MBq	放射性核素均存储在铅罐内，取日实际最大使用量的0.1%，f取最大值（即 $f_{\text{F-18}}=0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ）
	^{131}I	6.29MBq	
	^{18}F	6.29MBq	
	^{11}C	12.6MBq	
	^{68}Ga	3.7MBq	
放射性废物 暂存室	^{99m}Tc	3.7MBq	放射性废物存放于铅废物桶内，活度取日实际最大使用量的0.01%，f取最大值（即 $f_{\text{F-18}}=0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ）
	^{131}I	0.629MBq	
	^{18}F	0.629MBq	
	^{11}C	1.26MBq	
	^{68}Ga	0.37MBq	
		^{131}I : TVL（铅）=11mm，	居留因子T小于1 时均按照周围剂量当量

核医学科工作场所	—	TVL（砼）=100mm ^{11}C : TVL(铅)=16.6mm, TVL(砼)=176mm 砼密度取 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$; 铅密度取 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$	率为 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 控制; T=1时, 公众成员限值按照 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 进行控制或辐射工作人员限值按照 $1.25\text{mSv}/\text{a}$ 进行控制; 对于控制年剂量限值后推算出关注点剂量率大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的情况, 按 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 控制
----------	---	---	---

2、屏蔽核算公式

本项目核医学科工作场所的屏蔽考虑受检者体内放射性核素所产生的 γ 射线。本次屏蔽核算把注射后的受检者当作一个整体的放射源（点源）进行考虑，参考《放射防护实用手册》（赵兰才，张丹枫）中对 γ 剂量估算的经验公式。

$$H_R = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-X/\text{TVL}} \quad \text{式 (11-22)}$$

H_R —经屏蔽材料屏蔽后，关注点的剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

A—药物的放射性活度，MBq;

f—剂量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}/\text{MBq}$;

R—关注点到辐射源的距离，m;

X—拟采用的屏蔽厚度，cm;

TVL— γ 射线在相应屏蔽材料中的十值层，cm;

3、屏蔽核算结果

核医学科工作场所屏蔽核算结果选取剂量率常数较大的 ^{131}I 和 ^{18}F 进行屏蔽核算。本项目核医学工作场所屏蔽核算值、设计值和建议值见表 11-13 所示。

表 11-13 工作场所屏蔽防护核算结果表

场所名称	屏蔽名称	计算参数		屏蔽设计值	核算值	墙外剂量率值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	
分装室	西墙	$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, TVL（混凝土）=17.6cm	^{11}C	180mm 混凝土	176mm 混凝土	2.388	2.431
		$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, TVL（混凝土）=10cm	^{131}I		33mm 混凝土	0.043	
	南墙	$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, TVL（混凝土）=17.6cm	^{11}C	240mm 混凝土	176mm 混凝土	1.089	1.10
		$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, TVL（混凝土）=10cm	^{131}I		33mm 混凝土	0.011	
	北墙、东墙	$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, TVL（混凝土）=17.6cm	^{11}C	240mm	176mm 混凝土	1.089	

		$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	混凝土	33mm 混凝土	0.011	1.10
	北侧防护门	$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	^{11}C	15mm 铅 当量	11mm 铅当量	1.396	1.448
		$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.1cm	^{131}I		4mm 铅 当量	0.052	
	注射窗口	$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	^{11}C	20mm 铅 当量	11mm 铅当量	0.670	0.894
		$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.1cm	^{131}I		4mm 铅 当量	0.224	
SPECT-CT 注射/给药区	北墙、东墙、西墙	$R \approx 2\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	200mm 混凝土	33mm 混凝土	0.027	0.027
	南侧	$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	240mm 混凝土	33mm 混凝土	0.011	0.011
	北侧防护门	$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.1cm	^{131}I	5mmPb 当量	4mm 铅 当量	0.224	0.224
SPECT-CT 扫描室	北墙、南墙、东墙、西墙	$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	250mm 混凝土	33mm 混凝土	0.009	0.009
	西侧防护门和观察窗	$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.1cm	^{131}I	4mm 铅 当量	4mm 铅 当量	0.518	0.518
	南侧防护门	$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.1cm	^{131}I	7mm 铅 当量	4mm 铅 当量	0.277	0.277
SPECT-CT 留观室	北墙	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	250mm 混凝土	134mm 混凝土	0.171	0.171
	西墙	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	370mm 混凝土	134mm 混凝土	0.011	0.011
	南墙	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	210mm 混凝土	134mm 混凝土	0.428	0.428
	东墙	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	180mm 混凝土	134mm 混凝土	0.855	0.855
	西侧、东侧防护门	$R \approx 1.5\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.1cm	^{131}I	12mm 铅 当量	11mm 铅当量	1.946	1.946
	顶部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	250mm 混凝土	12mm 混凝土	0.007	0.007
	底部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	250mm 混凝土	12mm 混凝土	0.007	0.007

SPECT-CT 候诊室	西墙、南墙	$R \approx 1.5\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	210mm 混凝土	98mm 混凝土	0.190	0.190
	北墙	$R \approx 1.5\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	250mm 混凝土	98mm 混凝土	0.076	0.076
	东墙	$R \approx 1.5\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 10cm	^{131}I	370mm 混凝土	98mm 混凝土	0.005	0.005
	北侧防护门	$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.1cm	^{131}I	7mm 铅当量	5mm 铅当量	1.384	1.384
	南侧防护门	$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.1cm	^{131}I	5mm 铅当量	5mm 铅当量	2.099	2.099
PET-CT 扫描室	东墙、西墙、南墙、北墙	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	^{11}C	250mm 混凝土	33mm 混凝土	0.153	0.153
	北侧防护门	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	^{11}C	4mm 铅当量	4mm 铅当量	2.311	2.311
	西侧防护门和观察窗	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	^{11}C	8mm 铅当量	4mm 铅当量	1.327	1.327
PET-CT 留观室	北墙	$R \approx 4.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	^{11}C	210mm 混凝土	194mm 混凝土	2.016	2.016
	西墙	$R \approx 4.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	^{11}C	200mm 混凝土	194mm 混凝土	2.298	2.298
	南墙	$R \approx 4.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	^{11}C	240mm 混凝土	194mm 混凝土	1.361	1.361
	东墙	$R \approx 4.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	^{11}C	260mm 混凝土	194mm 混凝土	1.048	1.048
	顶部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	^{11}C	250mm 混凝土	159mm 混凝土	0.764	0.764
	底部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	^{11}C	250mm 混凝土	159mm 混凝土	0.764	0.764
候诊室和VIP候诊室	北墙、西墙、东墙	$R \approx 4.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	^{11}C	240mm 混凝土	194mm 混凝土	1.361	1.361
储源室	北墙、南墙、西墙	$R \approx 1.5\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	—	240mm 混凝土	39mm 混凝土	0.181	0.181
	东墙	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	—	180mm 混凝土	101mm 混凝土	0.894	0.894
	东侧防护门	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	—	4mm 铅当量	1mm 铅当量	1.669	1.669

	西侧传递窗	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	—	7mm 铅当量	1mm 铅当量	1.101	1.101
放射性废物暂存室	北墙	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	—	240mm 混凝土	—	0.041	0.041
	南墙	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	—	200mm 混凝土	—	0.069	0.069
	东墙	$R \approx 1.5\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	—	180mm 混凝土	—	0.040	0.040
	西墙	$R \approx 1.5\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	—	200mm 混凝土	—	0.031	0.031
	南侧防护门	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	—	4mm 铅当量	—	0.167	0.167

从表 11-13 可以看出,核医学科工作场所四周的辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Gy/h}$,屏蔽设计满足要求。实际受检者在 SPECT-CT 候诊室和 PET-MR 候诊室、留观室等待过程中,由于衰变的作用,受检者体内核素的活度不断减小,因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

3、敷贴治疗屏蔽计算

本项目敷贴治疗室面积为 11.48m^2 , 满足《放射性核素敷贴治疗卫生防护标准》(GBZ134-2002) 中第 7.1 中“敷贴治疗室面积不小于 10m^2 ”的要求。

查《辐射防护导论》中带电粒子的屏蔽计算章节, 可得 β 粒子射程公式:

$$R = 0.412E^{(1.265-0.0954\ln E)} \quad \text{式 (11-23)}$$

式中, E—能量, MeV, $0.1 < E < 2.5\text{MeV}$;

R— β 粒子在低 Z 物资中的射程, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

砖密度为 $1.65\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 可得砖的厚度为 0.12cm ; 铁密度为 $7.1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 可得砖的厚度为 0.03cm 。

根据《辐射防护导论》中带电粒子的屏蔽计算章节, 韧致辐射的计算公式:

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{14} A Z_e \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \bullet (\mu_{en} / \rho) \quad \text{式 (11-24)}$$

$$\eta = \frac{\dot{H}_{L,h} \bullet r^2}{4.58 \times 10^{14} A \bullet Z_e \bullet E_b^2 \bullet (\mu_{en} / \rho) \bullet q} \quad \text{式 (11-25)}$$

式中, D—屏蔽层中由β粒子产生的韧致辐射在某处 r (m) 空气中的吸收剂量率, Gy/h;

μ_{en} / ρ —平均能量为 $E_b = E_{\beta}$ 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收, $\text{m}^2 \cdot \text{kg}$;

$\dot{H}_{L,h}$ —某处剂量当量率的控制水平, $2.5\mu\text{Sv/h}$;

η —透射比;

$E_b = 1/3 E_{\text{max}}$, 平均能量 MeV;

A—药物的放射性活度, Bq;

Ze—取 14;

q—品质因子, 取 1。

查《辐射防护导论》中附表 1, 可得韧致辐射光子平均能量为 0.18MeV 相应的空气质量能量吸收系数 μ_{en} / ρ 为 $6.154 \times 10^{-3} \text{m}^2 \cdot \text{kg}$ (混凝土)、 $4.093 \times 10^{-2} \text{m}^2 \cdot \text{kg}$ (铁)。

$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} \times 1.48 \times 10^9 \text{Bq} \times 14 \times (0.18 \text{MeV} / 0.2 \text{m})^2 \times 6.154 \times 10^{-3} \text{m}^2 \cdot \text{kg} = 4.12 \times 10^{-6} \text{Gy/h}$
β粒子的品质因数为 1, 故 $\eta = 0.61$, 减弱倍数 $K = 1/\eta = 1/0.61 = 1.65$ 。

查《辐射防护导论》中附表 9, 混凝土厚度小于 7.7cm, 即小于 12cm 实心砖。同理可得铁: $\eta = 0.36$, 减弱倍数 $K = 1/\eta = 1/0.36 = 2.76$, 查《辐射防护导论》中附表 10, 铁厚度小于 3.17cm。

根据上述公式, 患者距治疗室外关注点约 1m, 远小于β粒子在 0.2m 处的韧致辐射所引起的辐射剂量, 故本建设项目敷贴治疗室屏蔽设计厚度可以屏蔽β射线和β粒子所引起的韧致辐射, 其敷贴治疗室屏蔽设计评价结果如下:

表 11-14 敷贴治疗室屏蔽设计数据情况表

墙体名称	设计厚度	结论
北墙	24cm 实心砖	符合
西墙	12cm 实心砖	符合
南墙	24cm 实心砖	符合
东墙	24cm 实心砖	符合
西门	普通防盗门	符合

地坪/楼板	12cm 钢筋混凝土	符合
-------	------------	----

本建设项目敷贴治疗室屏蔽厚度设计值符合《放射性核素敷贴治疗卫生防护标准》（GBZ134-2002）标准要求。

4、保护目标所受剂量评价

本项目核医学科拟配置12名辐射工作人员。核医学科分装淋洗、敷贴治疗均由医生负责，注射由护士负责，设备操作和摆位由技师负责。

在严格按照设计提供的屏蔽防护方案建设后，辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算结果如下：

（1）淋洗分装时的剂量估算

^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{68}Ga 采用自动分装仪进行分装，所以不考虑其分装对辐射工作人员产生的影响。由于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的剂量率常数和十值层厚度较小， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装和淋洗过程中产生的射线经通风橱屏蔽后，对工作人员产生的剂量很小，可以忽略。因此，主要考虑 ^{68}Ga 的淋洗和 ^{131}I 的分装。 ^{68}Ga 每天淋洗的时间分别为 1h， ^{131}I 每天分装时间为 1h，一年工作 300d，科内有 6 名医生轮流负责淋洗分装工作，居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-22 进行计算，计算结果如下：

^{68}Ga 淋洗： $3700 \times 0.136 \times 0.5^{-2} \times 10^{-5.05/1.66} \times 300 \times 1 \times 10^{-3} = 0.548 \text{mSv/a}$

^{131}I 分装： $6290 \times 0.0583 \times 0.5^{-2} \times 10^{-5.05/1.1} \times 300 \times 1 \times 10^{-3} = 0.011 \text{mSv/a}$

由上式可知，分装淋洗放射性药物时，每名医生所受的年有效剂量为 0.093mSv。

（2）注射（给药）放射性药物时的影响分析

本项目 PET-CT 检查拟使用核素 ^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{68}Ga 作为显像剂，其中 ^{18}F 使用量最大为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ /人次，年就诊人数按 5000 人计； ^{11}C 使用量最大为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ /人次，年就诊人数按 5000 人计； ^{68}Ga 使用量最大为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ /人次，年就诊人数按 1500 人计。本项目 SPECT-CT 检查拟使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 作为显像剂，其中 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 使用量最大为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ /人次，年就诊人数按 15000 人计； ^{131}I 使用量最大为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ /人次，年就诊人数按 10000 人计。每次注射（给药）时间按 30s 计，科内有 2 人护

士轮流负责注射工作。居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-22 进行计算，计算结果如下：

$$^{18}\text{F} \text{ 注射: } 370 \times 0.143 \times 0.5^{-2} \times 10^{-2.05/1.66} \times 5000 \times 30 \times 10^{-3} / 3600 = 0.513 \text{ mSv/a}$$

$$^{11}\text{C} \text{ 注射: } 740 \times 0.136 \times 0.5^{-2} \times 10^{-2.05/1.66} \times 5000 \times 30 \times 10^{-3} / 3600 = 0.977 \text{ mSv/a}$$

$$^{68}\text{Ga} \text{ 注射: } 740 \times 0.136 \times 0.5^{-2} \times 10^{-2.05/1.66} \times 1500 \times 30 \times 10^{-3} / 3600 = 0.293 \text{ mSv/a}$$

$$^{99\text{m}}\text{Tc} \text{ 注射: } 740 \times 0.033 \times 0.5^{-2} \times 10^{-2.05/0.1} \times 15000 \times 30 \times 10^{-3} / 3600 = 0.001 \text{ mSv/a}$$

$$^{131}\text{I} \text{ 给药: } 185 \times 0.0583 \times 0.5^{-2} \times 10^{-2.05/1.1} \times 10000 \times 30 \times 10^{-3} / 3600 = 0.049 \text{ mSv/a}$$

注射放射性药物时，每名护士所受的年有效剂量为 0.917mSv。

(3) 操作PET-CT、SPECT-CT时的影响分析

根据以上估算，PET-CT 操作位处的辐射剂量率为 1.327μSv/h，SPECT-CT 操作位处的辐射剂量率为 0.518μSv/h。科内有 4 人技师轮流负责操作工作，操作间工作人员年受照射时间为 3000h。居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-22 计算可得，操作设备时，每名技师最大所受的年有效剂量为 1.991mSv。

(4) 摆位时的影响分析

摆位人员在扫描间内指导受检者正确摆放姿势，偏安全考虑，不考虑注射后药物的衰减，按摆位一个受检者大约需要 30s，科内有 4 人技师轮流负责摆位。居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-22 进行计算，计算结果如下：

$$^{18}\text{F} \text{ 摆位: } 370 \times 0.143 \times 1^{-2} \times 10^{-0.05/1.66} \times 5000 \times 30 \times 10^{-3} / 3600 = 2.057 \text{ mSv/a}$$

$$^{11}\text{C} \text{ 摆位: } 740 \times 0.136 \times 1^{-2} \times 10^{-0.05/1.66} \times 5000 \times 30 \times 10^{-3} / 3600 = 3.913 \text{ mSv/a}$$

$$^{68}\text{Ga} \text{ 摆位: } 740 \times 0.136 \times 1^{-2} \times 10^{-0.05/1.66} \times 1500 \times 30 \times 10^{-3} / 3600 = 1.174 \text{ mSv/a}$$

$$^{99\text{m}}\text{Tc} \text{ 摆位: } 740 \times 0.033 \times 1^{-2} \times 10^{-0.05/0.1} \times 15000 \times 30 \times 10^{-3} / 3600 = 0.965 \text{ mSv/a}$$

$$^{131}\text{I} \text{ 摆位: } 185 \times 0.0583 \times 1^{-2} \times 10^{-0.05/1.1} \times 10000 \times 30 \times 10^{-3} / 3600 = 0.810 \text{ mSv/a}$$

注射放射性药物时，每名护士所受的年有效剂量为 2.230mSv。

(5) 敷贴治疗工作人员辐射剂量估算

敷贴器源窗表面剂量率为 $21167\mu\text{Gy/s}$ 下测得敷贴治疗器背面 5cm 处剂量率为 $540.5\mu\text{Gy/h}$ ，在 50cm 处的辐射剂量率为 $13.45\mu\text{Gy/h}$ ，工作人员为患者摆放敷贴器时的时间约 5s ，每天 10 人次。

敷贴工作人员的全身剂量： $13.45 \times 5 \times 10 \times 250 \times 10^{-3} / 3600 = 0.047\text{mSv/年}$ 。

综上所述，各个岗位工作人员年受照射剂量预测结果如表11-2所示。

表11-15 核医学科工作人员年受照射剂量预测结果表

岗位	人均年有效剂量 (mSv)	合计 (mSv)
淋洗分装	0.093	0.140
敷贴治疗	0.047	
注射 (给药)	0.917	0.917
操作PET-CT、SPECT-CT	1.991	4.221
摆位	2.230	

(6) CT 扫描的辐射影响

PET-CT 和 SPECT-CT 部分为 III 类医用射线装置，扫描室墙体、门、窗、顶棚的防护厚度均能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)、《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ180-2006) 中要求，以上标准中扫描室屏蔽厚度参数是以扫描室外人员受照剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

(GB18871-2002) 中剂量要求而设定的，而本项目扫描室设计方案各项防护参数均大于标准要求，由此偏保守推测，设备正常运行时对扫描室外环境的影响可满足本项目评价标准要求。

射线装置在报废前，应采取去功能化的措施（如拆除电源或拆除加高压零部件），确保装置无法再次通电使用。

(7) 校准用密封源的环境影响

PET-CT 设备使用 1 枚 ^{68}Ge 校准源。一般情况下放射源储存在储源室的保险柜内，进行图片质量校准时从储源室中取出放置在需要校准的设备上采集信息。处于贮存状态时，贮存容器和储源室的屏蔽设施能够完全屏蔽掉 γ 射线对周围环境的影响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的扫描室内，且校准时，源需放置在设备自带屏蔽体内部，对周围环境影响可忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员的进入。专门负责的校准工作人员穿着铅衣在扫描室对机器进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，因此校准

源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低。

（二）核医学科的“三废”及其他污染防治措施

1、放射性药物的存放

本项目核医学科使用的放射性药物存放在核医学科分装室通风橱的铅罐内，校准源存放在核医学科储源室的保险柜内。分装室和储源室均设有监控系统，对其进行 24 小时监控，并且实施双人双锁专管制度。储存的放射性药物，有良好的外包装和专门的材料，其屏蔽体外的辐射水平可符合国家相关标准，再经距离衰减和墙体屏蔽后，其所致室外环境和公众剂量，可低于国家标准规定的限值。分装室和储源室的墙体可满足防护要求，积极采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全措施。

评价要求：①放射性药物的存储容器要有合适的屏蔽，放置在易于取放的地方；

②分装室和储源室要有专人进行管理，并定期进行辐射剂量的监测，无关人员不准许进入；

③储放射放射性药物要有进出登记，包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况等详细记录，建立放射性药物台帐制度；

④医院应建立完善的放射源贮存、领取、使用、归还登记和检查制度，做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整。

2、放射性废水

根据核素显像检查规程要求，全身扫描和腹部扫描检查前须排尽小便。核素检查过程中产生的放射性废水，主要来自患者使用卫生间后的冲厕废水。核医学科工作场所全年检查工作日为 300d，每日最多检查患者 123 人，每次冲厕废水 0.005m^3 ，预计废水的产生量约为 $0.615\text{m}^3/\text{d}$ ，由于本项目最长半衰期的核素为 ^{131}I ，其半衰期为 8.05d，10 个半衰期为 80.5d（2.51d），在此期间内放射性废水产生量约为 49.5m^3 。

医院核医学科工作场所产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，排入放射性废水衰变池。放射性废水衰变池分为 3 格，采用并联工作模式，每格容量为 25m^3 ，总容积为 75m^3 ，大于 ^{131}I 10 个半衰期内产生的放射性废水量（ 49.5m^3 ）。放射性废水衰变池的容量可以满足医院的需求。

放射性废水衰变池采用 C30 抗渗混凝土浇筑，四周池壁和底板厚度为 300mm，

内部采用玻璃钢防腐，隔板采用 300mm 混凝土，盖板为直径 700mm 的铸铁含铅井盖，取样口位于衰变池废水外排口，距底部约 30cm 高处。

放射性废水衰变池还需满足以下要求：

a.放射性衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施。

b.规定患者治疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

c.专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

d.医院应制定相应的废水监测计划，对监测数据做好记录，确保放射性废水达标排放。

e.医院所修建放射性废水衰变池能保证放射性废水储存 10 个半衰期以上，放射性废水每次排放时需经有资质的单位监测合格，证明放射性废水经过 10 个半衰期储存后能够满足排放要求，当总 β 放射性小于 10Bq/L 时，方可排入医院废水处理系统。

3、放射性固体废物

核医学科产生的放射性固体废物主要为沾染放射性药物的注射器、注射针头、口杯及可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、敷贴滤纸、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物，PET-CT 产生的废校准源，产生的废弃 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器、废弃 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器；敷贴治疗过程中产生的废 ^{90}Sr 放射源；放射性废气净化装置产生的废活性炭。

核医学科每年共计产生的放射性固体废物重量约为 100kg。放射性固体废物分类收集在具有防护外层的固体废物桶中，固体废物桶中放置专用塑料袋收纳废物，待废物袋装满后，转到放射性废物暂存室内集中存放，在放射性废物暂存室内存放至十个半衰期后，使用表面污染监测仪进行监测，如果符合清洁解控水平（比活度小于或等于 10^4Bq/kg ），按医疗废物环境管理要求进行无害化处理。医院核医学科专门设有 1 间放射性废物暂存室，能够满足放射性固体废物的存放要求。

放射性废物暂存室需满足以下要求：

a.放射性固体废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避开辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏，并

及时转至放射性废物暂存室，并放入专用容器中贮存。

b. 在放射性废物暂存室出入口设电离辐射标志，存放废物的容器必须安全可靠，并在废物桶的显著位置处标有废物类型、比活度范围和存放的日期等说明。

c. 应加强放射性废物暂存室的通风及安保工作。

d. 放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。

4、废气

核医学科控制区设计独立的通风系统，确保放射性废物暂存室、分装室、注射室、储源室为最低负压区，PET-CT 候诊室、SPECT-CT 候诊室、留观室、PET-CT 扫描室、SPECT-CT 扫描室、卫生间、卫生通过间为次低负压区，空气由正常区流向次低负压区，再流向最低负压区。

本项目使用放射性药物 ^{99m}Tc 、 ^{68}Ga 、 ^{11}C 、 ^{18}F 无气载放射性废物产生，放射性药物 ^{131}I 为挥发性核素，会产生少量的放射性气体，所以本项目仅考虑 ^{131}I 分装产生的放射性废气。本项目 2 个通风橱拟配备独立通风系统，风速大于 1m/s ，满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）标准要求。

核医学科使用的 ^{131}I 由专业供应商放置在铅罐内密封保存，核素分装操作在负压的通风橱中进行，底部衬托吸水滤纸。本项目核医学科 ^{131}I 日最大操作量为 $6.29 \times 10^9 \text{Bq}$ ，挥发量取日最大操作量的 $1/1000$ ，每天总分装时间取 1h ，活性炭吸附效率不低于 99% ，核医学科设计使用总排风量为 $3000\text{m}^3/\text{h}$ 的排风机，则核医学科气溶胶排放浓度为 $20.97\text{Bq}/\text{m}^3$ ，本项目核医学科 ^{131}I 全年分装工作 300h ，假设人呼吸量为 $1.2\text{m}^3/\text{h}$ ，则公众年吸入量为 $7.55 \times 10^3 \text{Bq}$ ，小于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WS T613-2018）规定的公众成员吸入含 ^{131}I 气溶胶摄入量限值 $2.9 \times 10^4 \text{Bq}$ 。因此，本项目产生的放射性废气经活性炭吸附处理后排放对周围环境影响是可接受的，不会对周围公众造成不利影响。

5、表面污染控制措施

为保证非密封工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，放射性药物要妥善储存及转移，防止意外撒漏。

②操作放射性药物时，须在有负压和过滤的通风橱中进行，防止放射性物质飞散。

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用医院自购的表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

二、DSA 和 C 型臂 X 射线机的环境影响分析

（一）DSA 和 C 型臂 X 射线机的辐射环境影响分析

本项目涉及 3 台 DSA 和 1 台 C 型臂 X 射线机，每台医用射线装置的年工作量最大为 300 人次/年，拍片 2.5h、透视 50h；单台手术最长出束时间 10min；出束方向：由下而上。

根据原环境保护部和国家卫生计生委联合发布公告 2017 年第 66 号《射线装置分类办法》，DSA 和 C 型臂 X 射线机属于 II 类射线装置，工作时不产生放射性废气、废水和固体废物。本机为数字成像设备，不使用显、定影液，其主要危害因素为射线装置工作时产生的 X 射线，出束方向由下向上。

医用射线装置在进行曝光时分为两种情况：

①造影拍片过程：操作人员采取隔室操作的方式，医生通过控制室铅玻璃观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。在拍片过程中，医生位于控制室内，经机房各屏蔽体屏蔽后，对机房外（包括机房楼上）的公众和工作人员基本没有影响。

②脉冲透视过程

为更清楚的了解病人情况，医生需进入机房进行手术治疗时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师身着铅衣、戴铅眼镜等在机房内对病人进行直接的手术操作。

本环评采用预测方法分析本项目 DSA 和 C 型臂 X 射线机在正常运行期间对辐射工作人员及公众的辐射影响。

1、理论预测方法

(1) 对机房外环境的影响

根据医院提供的资料, 1#DSA 介入室、2#DSA 介入室四周墙体为轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板, 屋顶为 120mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量的铅板, 底部为 240mm 钢筋混凝土, 观察窗为 3mm 铅当量的铅玻璃, 防护门为 3mm 铅当量。6 号杂交手术室四周墙体为轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板, 屋顶为 120mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料, 底部为 200mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料, 观察窗为 3mm 铅当量的铅玻璃, 防护门为 3mm 铅当量。ERCP 室四周墙体为 370mm 实心砖, 屋顶为 160mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料, 底部为 200mm 钢筋混凝土, 观察窗为 3mm 铅当量的铅玻璃, 防护门为 3mm 铅当量。

①计算模式

主射束的屏蔽防护采用《辐射防护手册》(第一分册)中计算公式如下:

$$D_r = D_i \cdot \mu \cdot \eta \cdot f \cdot T / r^2 \quad (\text{式 11-26})$$

式中: D_r —预测点处辐射空气吸收剂量, Gy/a;

D_i —X 射线在 1m 处的辐射空气吸收剂量率, Gy/min;

T —每台医用射线装置每年工作时间, 52.5h (包括透视和拍片);

μ —利用因子, 监测点位的占用因子均取 1;

η —对防护区的占用因子 (居留因子);

f —屏蔽材料对初级 X 射线束的减弱因子; (2.5mmPb 的屏蔽体对应的值: 6.5×10^{-5} ; 3.0mmPb 的屏蔽体对应的值: 4.3×10^{-5} ; 3.5mmPb 的屏蔽体对应的值: 1.3×10^{-5})

r —预测点距 X 射线源的距离, m。

②预测结果分析

保守考虑, 在 X 射线过滤材料为 2.0mmAl 的情况下, 距射线装置 1m 处, 由单位管电流 (1mA) 造成的照射量率为 $0.8R \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 经计算, DSA 和 C 型臂 X 射线机距靶 1m 处的辐射空气吸收剂量率为 6.984 mGy/min (X 射线过滤材料 2.0mmAl)。查《辐射防护手册》(第一分册)图 10.5e、图 10.5a 可得铅、混凝土对 X 射线的减弱因子。机房的屏蔽厚度根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的有关要求, 医用射线装置使用场所在距离机房屏蔽体外表面 30cm 外, 周围辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 和辐射工作人员年剂量约束值为 5.0mSv, 公众的年剂量约束值为 0.1mSv 的规定, 利用 (公式

11-26) 进行剂量预测, 预测点年剂量预测见表 11-15。

表 11-15 DSA 和 C 型臂 X 射线机机房外关心点年有效剂量结果表

位置	预测点	与射线源最近距离 (m)	设计屏蔽材料与厚度 (mm)	减弱因子 (f)	占用因子	照射类型	年有效剂量 (mSv)	管理限值
1#DSA 介入室、2#DSA 介入室	控制室医护人员	3.0	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	职业照射	0.105	5.0
	洁净走廊、缓冲间、卫生间、杂物间、办公室、值班室、谈话间、医护通道、公共走廊医护人员、患者	4.0	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众照射	0.059	0.1
	ICU 及其配套用房医护人员、患者 (东侧)	4.0	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众照射	0.059	0.1
	换药室、注射室、更衣室、穿刺室医护人员、患者 (楼上)	4.0	120mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量的铅板 (相当于 3.5mm 铅当量)	1.3×10^{-5}	1	公众照射	0.023	0.1
	输液室医护人员、患者 (楼下)	4.0	240mm 钢筋混凝土 (相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众照射	0.077	0.1
6 号杂交手术室	控制室医护人员 (西侧)	3.0	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	职业照射	0.105	5.0
	普外手术室、腔镜手术室、镂空区域医护人员、患者 (北侧)	4.0	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众照射	0.059	0.1
	缓库房、复苏室、CCU 工作区医护人员、患者 (西侧)	4.5	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众照射	0.047	0.1
	设备间、体外循环室、防辐射手术室、空调机房医护人员、患者 (东侧)	4.0	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众照射	0.059	0.1
	防辐射手术室、镂空区域、诊室、治疗室医护人员、患者 (南侧)	4.5	轻钢龙骨+3mm 铅当量的铅板 (相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众照射	0.047	0.1
	医生办公室医护人员 (楼上)	4.0	120mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料 (相当于 2.5mm 铅当量)	6.5×10^{-5}	1	公众照射	0.089	0.1
	医生办公室医护人员 (楼下)	4.0	200mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料 (相当	1.3×10^{-5}	1	公众照射	0.018	0.1

			于 3.5mm 铅当量)					
ERCP 室	控制室医护人员(北 侧)	3.0	370mm 实心砖(相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	职业 照射	0.105	5.0
	治疗室、无菌库房、 镜库、医护通道、卫 生间医护人员、患者 (北侧)	4.0	370mm 实心砖(相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众 照射	0.059	0.1
	麻醉室、复苏室、胃 肠镜室、配药室、术 前准备室、库房、控 制室、等候区、内镜 室医护人员、患者 (西侧)	4.0	370mm 实心砖(相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众 照射	0.059	0.1
	治疗室医护人员、患 者(东侧)	4.0	370mm 实心砖(相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众 照射	0.059	0.1
	门诊医技楼医护人 员、患者(东侧)	30.0	370mm 实心砖(相当于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众 照射	0.001	0.1
	肝胆外科超声介入 室、超声谈话室、中 控室(楼上)	4.0	160mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量的硫酸钡材料(相当 于 3mm 铅当量)	4.3×10^{-5}	1	公众 照射	0.077	0.1
	停车库(楼下)	4.0	200mm 钢筋混凝土(相当 于 2.5mm 铅当量)	6.5×10^{-5}	1	公众 照射	0.089	0.1

从表 11-15 可以看出, 预测点年有效剂量预测结果满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中辐射工作人员年剂量约束值为 5.0mSv, 公众的年剂量约束值为 0.1mSv 的规定。

(2) 对机房内医护人员的影响

本项目每台医用射线装置拟配备 9 名工作人员, 其中医生 3 名, 技师 3 名, 护士 3 名。在进行介入手术时, 有 1 名医生和 1 名护士在机房内对患者进行手术, 1 名技师在控制室进行操作。医生和护士在进行介入手术时将穿戴铅衣等防护用品。进行介入手术治疗过程中有时会连续曝光, 此时采用脉冲透视, 医生距主射束的最近距离约 0.5m, 护士的距离约 1m。

本项目所用 3 台 DSA 和 1 台 C 型臂 X 射线机的额定管电压和额定管电流均相同, 人员配置相同, 工作时间相同, 因此对机房内医护人员的影响相同, 可只计算 1 台 DSA 机房内医护人员的年有效剂量。本项目对于机房内医生和护士的影响采用模式计算进行评价分析。计算模式参考李士骏编著的《电离辐射剂量学》, 介入手术对机房内的工作人员所造成的辐射剂量可按式估算:

$$X = I \bullet t \bullet V_{r_0} \bullet \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \bullet f \quad (11-27)$$

$$D = 8.73 \times 10^{-3} \times X \quad (11-28)$$

$$E = D \bullet W_R \bullet W_T \quad (11-29)$$

上式中：X—离射线装置 r 米处产生的照射量，R；

D—离射线装置 r m 处产生的空气吸收剂量，mGy；

E—参考点的有效剂量，mSv；

I—管电流（mA）或平均电子束流（μA）；

V_{r_0} —在给定的管电压和射线过滤情况下，距射线装置 r_0 m ($r_0=1$ m) 处，由单位管电流（1mA）造成的照射量率， $R \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ ；

f—防护材料对 X 射线的减弱因子，无量纲；

t—介入性血管造影的累计出束时间，3150min；

W_R —辐射权重因数，X 射线为 1；

W_T —组织权重因数，全身为 1，皮肤取 0.01。

本项目 DSA 和 C 型臂 X 射线机过滤板采用 2mmAl，据此查得 $v_{r_0}=0.8R \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ 。医生在机房内操作时须穿联体铅衣、戴铅手套、铅眼镜、铅围脖（0.5mmPb），同时手术医生使用铅屏风 and 铅帘进行防护（0.5mmPb），查《辐射防护手册》（第一分册）图 10.5e，0.5mmPb 对 X 射线的减弱因子 $f=3 \times 10^{-2}$ 。由于医生位于 X 射线的漏射方向，因此照射量取主射束方向的 1‰计算，各参数取值见表 11-15。

表 11-15 本项目预测模式下各参数取值表

参数	I	t	V_{r_0}	r_0	r	f
取值	1000mA	3150min	$0.8R \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$	1m	医生：0.5m	3×10^{-2}
					护士：1m	

将表 11-14 的参数带入上式（11-27）、（11-28）、（11-29），计算可得手术室内医生受照年有效剂量最大为 2.640mSv/a，护士的年有效剂量最大为 0.660mSv/a，本项目每台医用射线装置均配置了 3 名医生、3 名护士，因此，每名医生受照的年有效剂量最大为 0.880mSv/a，每名护士受照的年有效剂量最大为 0.220mSv/a。

综上所述，本项目 DSA 和 C 型臂 X 射线机运行后，控制室内职业人员受到的附加

有效剂量最大为0.105mSv/a，手术室内职业人员受到的年有效剂量最大为0.880mSv/a，公众受到的附加有效剂量最大为0.089mSv/a，均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员20mSv/a和公众1mSv/a剂量限值，且均满足职业人员5mSv/a，公众0.1mSv/a的剂量约束值。

环评建议：所有手术过程中机房内的医护人员均应按辐射工作人员进行管理，手术时医护人员须将个人剂量计佩戴于铅衣内，个人剂量计定期送有资质的单位检测并建立个人剂量档案，在机房内操作时须穿铅衣、戴铅手套、铅眼镜、铅围脖等防护用品。对病人病灶进行照射时，应将病人病灶以外的部位用铅橡胶布进行遮盖或穿着铅服，以避免病人受到不必要的照射。

（3）医生腕部皮肤受照剂量

介入治疗时，医生通常站立于介入治疗病床侧面，面对病患，受到散射射束照射的几何条件为前后入射（AP，即垂直于人体长轴/Z轴，从人体正面的入射），本项目采用理论预测分析介入手术医生所受到的皮肤剂量。

预测模式：计算模式采用《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017），X射线所致皮肤损伤的辐射剂量可按式估算：

$$D_s = C_{KS} (k \cdot t) \times 10^{-3} \quad (11-30)$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}_{(10)}^*}{C_{kH}} \quad (11-31)$$

式中： D_s ：皮肤吸收剂量（mGy）；

k ：X- γ 辐射场的空气比释动能率（ $\mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ）；

C_{KS} ：空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数（Gy/Gy）；

$C_{KS}=1.121\text{mGy/mGy}$ ；

t ：人员累积受照时间，单位为小时（h）；

$\dot{H}_{(10)}^*$ ——X辐射场的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

C_{kH} ——空气比释动能到周围剂量当量的转化系数（Sv/Gy）。

医生操作时腕部距主射束的距离取0.3m，且不考虑任何防护。本项目DSA可近

似地视为垂直入射，而且是 AP 入射方式。根据式 11-30、式 11-31 计算得手术时腕部位置处的空气吸收剂量换算为剂量当量为 $1.40 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ ，从表 A.9 可查得 X 辐射场空气比释动能到周围剂量当量的转化系数 $C_{KH} = 1.72 \text{Sv/Gy}$ ，从表 A.4 可查出空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数 $C_{KS} = 1.134 \text{mGy/mGy}$ 。因此由式 11-30、式 11-31 计算得医生腕部所受剂量最大值为 16.15mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv ，也满足本项目对于放射工作人员四肢（手和足）或皮肤当量剂量通常管理限值，即不超过 125mSv/a 的要求。

医院应严格落实辐射安全防护的各项规章制度，所有手术过程中机房内的医护人员均应按辐射工作人员进行管理，手术时医护人员穿戴好防护用品并严格遵守操作规程。对病人病灶进行照射时，应将病人病灶以外的部位用铅橡胶布进行遮盖或穿着铅服，以避免病人受到不必要的照射。

2、介入治疗对医生和患者的辐射防护要求

介入治疗是一种解决临床疑难病的新方法，但介入治疗时 X 射线曝光量大，曝光时间长，距球管和散射体近，使介入治疗操作者受到大剂量的 X 射线照射。为了减少介入治疗时 X 射线对操作者和其他人员的影响，本评价提出以下几点要求：

介入治疗医生自身的辐射防护要求：①加强教育和培训工作，提高辐射安全文化素养，全面掌握辐射防护法规和技术知识；②结合诊疗项目实际情况，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施；③在介入手术期间，必须穿戴个人防护用品，并佩戴个人剂量报警仪；④定期维护 DSA 系统和 C 型臂 X 射线机设备，制定和执行介入治疗的质量保证计划。

患者的辐射防护要求：①严格执行国家标准 GB18871-2002 中规定的介入诊疗指导水平，保证患者的入射体表剂量率不超过 100mGy/min ；②选择最优化的检查参数，为保证影像质量可采用高电压、低电流、限制透视检查时间等措施；③采用剂量控制与分散措施，通过调整扫描架角度，移动扫描床等办法，分散患者的皮肤剂量，避免单一皮肤区域接受全部剂量；④作好患者非照射部位的保护工作。

3、射线装置报废

射线装置在报废前，应采取去功能化的措施（如拆除电源和拆解加高压射线管），

确保装置无法再次组装通电使用，并按照国有资产和生态环境保护主管部门要求，履行相关报废手续。

（二）大气环境影响分析

1#DSA 介入室、2#DSA 介入室、6 号杂交手术室、ERCp 室内空气中的氧受 X 射线电离而产生臭氧，其产率和浓度可用下面两个公式分别计算。

$$Q_o = 6.5 \times 10^{-3} \cdot G \cdot S_o \cdot R \cdot g \quad (11-32)$$

式中：

Q_o —臭氧产率 mg/h；

G —射束在距离源点 1m 处的剂量率 $Gy \cdot m^2/h$ ，本项目取 0.419；

S_o —射束在距离源点 1m 处的照射面积 m^2 ，取（最大射野 $40 \times 40 cm^2$ ） $0.16 m^2$ ；

R —射束径迹长度 m，取 1m；

g —空气每吸收 100eV 辐射能量产生 O_3 的分子数，本项目取 10。

经计算，臭氧产率为 $0.004 mg/h$ 。

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$C = Q_o \cdot T_v / V \quad (11-33)$$

式中：

C —室内臭氧浓度， mg/m^3 ；

Q_o —臭氧产额 mg/h ；

T_v —臭气有效清除时间，h；

V —机房空间体积，1#介入室体积为 $304.5 m^3$ ，2#介入室体积为 $245.0 m^3$ ，6 号杂交手术室体积为 $266 m^3$ ，ERCp 室体积为 $229.6 m^3$ 。

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \quad (11-34)$$

t_v —每次换气时间；

t_a —臭氧分解时间，取值为 $0.83 h$ 。

1#DSA 介入室、2#DSA 介入室、6 号杂交手术室、ERCp 室均采用多联机+新风系统排换气，每小时换气 4 次，每次换气时间均为 15min，则 1#DSA 介入室、2#DSA 介入室、6 号杂交手术室、ERCp 室内臭气平衡浓度分别为 $2.52 \times 10^{-6} mg/m^3$ 、

$3.13 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ 、 $2.89 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ 、 $3.34 \times 10^{-6} \text{mg/m}^3$ 。产生的 O_3 通过排风管道抽至屋顶排风口排入大气环境后，经自然分解和稀释，对机房周围的环境影响远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（ 0.2mg/m^3 ）的要求。

（三）固体废物环境影响分析

①本项目 DSA 和 C 型臂 X 射线机采用数字成像，不打印胶片，因此不会有废胶片产生。

②手术时产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾，按每台手术产生约 0.5kg 的医疗废物，每年固体废物产生量约为 600kg。医疗废物经分类收集打包好后暂存于医废间，医疗废物日产日清，交由资质单位处理。

五、保护目标环境影响分析

1、放疗中心环境保护目标环境影响分析

由于医院放疗中心射线装置布置相对集中，操作人员和公众同时受 3 台医用直线加速器和后装机的影响，环境保护目标取较近关注点的剂量，为了保守起见，若环境保护目标受到 2 台及以上加速器共同的影响，取影响较大的加速器所产生的剂量当量率作为其他加速器的剂量当量率，具体如下：1#、2#、3#、4#控制室、水冷机房所受医用直线加速器的剂量取 D 点的剂量当量率数据、门厅、放疗计价室、登记室所受医用直线加速器的剂量取 G 点的剂量当量率数据，档案室、值班室、主任办公室、缓冲室、阅片室、卫生间、药房、CT 室、MR 室、库房、模具制作室、维修工作室、门厅等所受医用直线加速器的剂量取 A 点的剂量当量率数据，服务中心楼所受医用直线加速器的剂量取 C 点的剂量当量率数据，门诊医技楼所受医用直线加速器的剂量取 G 点的剂量当量率数据，核医学科所受医用直线加速器的剂量取 B 点的剂量当量率数据，二层平台所受医用直线加速器的剂量取 I 点的剂量当量率数据，地下负 1 层车库所受医用直线加速器的剂量取 K 点的剂量当量率数据。具体情况如下表所示：

表 11-16 放疗中心环境保护目标环境影响分析表

位置	保护目标	居留因子	与射线束最近距离 (m)	照射类型	项目	估算年剂量 (mSv/a)
1#控制室、水冷机房（1#加速器治疗室东侧）	职业人员	1	9.4	职业照射	1#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			5.2		2#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			24.6		3#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}

			44.5		后装机贡献值	<0.0001
			1.0		加速器治疗室摆位	4.0×10^{-3}
			/		评价值	2.30×10^{-1}
2#控制室、水冷机房（2#加速器治疗室东侧）	职业人员	1	28.8	职业照射	1#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			9.4		2#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			5.2		3#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			25.1		后装机贡献值	<0.0001
			1.0		加速器治疗室摆位	4.0×10^{-3}
			/		评价值	2.30×10^{-1}
3#控制室、水冷室、戊类库房（3#加速器治疗室东侧）	职业人员	1	48.2	职业照射	1#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			28.8		2#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			9.4		3#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			4.0		后装机贡献值	<0.0001
			1.0		加速器治疗室摆位	4.0×10^{-3}
			/		评价值	2.30×10^{-1}
4#控制室、准备室（后装治疗室北侧）	职业人员	1	37.4	职业照射	2#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			18.4		3#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			3.5		后装机贡献值	3.0×10^{-3}
			1.0		后装机治疗室摆位	1.25×10^{-1}
			/		评价值	2.78×10^{-1}
门厅、放疗计价室、登记室（1#加速器治疗室西侧）	公众	1	5.5	公众照射	1#医用直线加速器贡献值	2.06×10^{-2}
			27.6		2#医用直线加速器贡献值	2.06×10^{-2}
			47.0		3#医用直线加速器贡献值	2.06×10^{-2}
			/		评价值	6.18×10^{-2}
档案室、值班室、主任办公室、缓冲室、阅片室、卫生间、药房、CT室、MR室、库房、模具制作室、维修工作室、门厅等（1#、2#、3#加速器治疗室、后装治疗室北侧）	公众	1	7.3	公众照射	1#医用直线加速器贡献值	2.90×10^{-2}
			7.3		2#医用直线加速器贡献值	2.90×10^{-2}
			7.3		3#医用直线加速器贡献值	2.90×10^{-2}
			20.0		后装机贡献值	<0.0001
			/		评价值	8.70×10^{-2}
服务中心楼（后装治疗室东侧）	公众	1	50	公众照射	3#医用直线加速器贡献值	7.52×10^{-2}
			28		后装治疗室贡献值	<0.0001
			/		评价值	7.52×10^{-2}
门诊医技楼（1#加速器治疗室西侧）	公众	1	44.8	公众照射	1#医用直线加速器贡献值	2.06×10^{-2}
			/		评价值	2.06×10^{-2}
第一住院楼（1#、2#、3#加速器治疗	公众	1	20.0	公众照射	1#医用直线加速器贡献值	4.15×10^{-3}
			20.0		2#医用直线加速器贡献值	4.15×10^{-3}

室、后装治疗室南 侧)			20.0		3#医用直线加速器贡献值	4.15×10^{-3}
			20.0		后装机贡献值	<0.0001
			/		评价值	1.25×10^{-2}
核医学科（后装治 疗室北侧）	公众	1/4	25.0	公众 照射	1#医用直线加速器贡献值	9.73×10^{-4}
			15.0		2#医用直线加速器贡献值	9.73×10^{-4}
			7.0		3#医用直线加速器贡献值	9.73×10^{-4}
			7.0		后装机贡献值	<0.0001
			/		评价值	2.92×10^{-3}
其它医疗用房 （1#、2#、3#加速 器治疗室、后装治 疗室楼上 11 层）	公众	1/16	5.8	公众 照射	1#医用直线加速器贡献值	1.64×10^{-3}
			5.8		2#医用直线加速器贡献值	1.64×10^{-3}
			5.8		3#医用直线加速器贡献值	1.64×10^{-3}
			5.5		后装机贡献值	1.0×10^{-3}
			/		评价值	5.92×10^{-3}
地下负 1 层车库 （1#、2#、3#加速 器治疗室、后装治 疗室楼下）	公众	1/16	6.0	公众 照射	1#医用直线加速器贡献值	2.28×10^{-3}
			6.0		2#医用直线加速器贡献值	2.28×10^{-3}
			6.0		3#医用直线加速器贡献值	2.28×10^{-3}
			5.5		后装机贡献值	1.0×10^{-3}
			/		评价值	7.84×10^{-3}

2、核医学科环境保护目标环境影响分析

表 11-17 核医学科环境保护目标环境影响分析表

位置	保护目标	居留 因子	与射线束最 近距离（m）	照射类型	估算年剂量 （mSv/a）
核医学科工作区	淋洗分装、敷贴 治疗医生	1	0.3	职业照射	0.140
	注射（给药）的 护士	1	0.3	职业照射	0.917
	操作及摆位的 技师	1	0.3	职业照射	4.221
控制室、准备室、后装治疗室、库房、 水冷机房、3#加速器治疗室（南侧）	公众	1	7.0	公众照射	0.082
档案室、值班室、主任办公室、缓冲室、 阅片室、卫生间、药房、CT 室、MR 室、库房、模具制作室、维修工作室、 门厅（西侧）	公众	1	3.0	公众照射	0.007
停车场（北侧）	公众	1/16	30.0	公众照射	<0.0001
服务中心楼（东侧）	公众	1	28.0	公众照射	0.002
地下车库（楼下）	公众	1/16	5.0	公众照射	0.056
其它医疗相关用房（楼上 11 层）	公众	1/16	5.0	公众照射	0.056

核医学科共有 6 名医师、4 名技师、2 名护士，其中医师负责敷贴治疗、分装注射，护士负责注射，技师负责操作和摆位，因此，每名医师所受的有效剂量为

0.140mSv/a, 护士 0.917mSv/a, 技师 4.221mSv/a。

3、介入诊疗科和消化病中心环境保护目标环境影响分析

表 11-18 介入诊疗科和消化病中心环境保护目标环境影响分析表

科室	位置	保护目标		居留因子	与射线束最近距离（m）	照射类型	估算年剂量（mSv/a）
介入诊疗科	1#DSA 介入室、2#DSA 介入室	手术医生	全身有效剂量	1	0.5	职业照射	0.880
			手部	1	0.3	职业照射	16.15
		护士		1	1.0	职业照射	0.220
	设备间、控制室、污物走廊	操作设备的技师		1	3.0	职业照射	0.105
	洁净走廊、缓冲间、卫生间、杂物间、办公室、值班室、谈话间、医护通道、公共走廊（南侧）	公众		1	4.0	公众照射	0.059
	ICU 及其配套用房（东侧）	公众		1	4.0	公众照射	0.059
	换药室、注射室、更衣室、穿刺室及其它医疗相关用房（楼上）	公众		1	4.0	公众照射	0.023
	输液室及其它医疗相关用房（楼下）	公众		1	4.0	公众照射	0.077
	6 号杂交手术室	手术医生	全身有效剂量	1	0.5	职业照射	0.880
			手部	1	0.3	职业照射	16.15
		护士		1	1.0	职业照射	0.220
	控制室（西侧）	操作设备的技师		1	3.0	公众照射	0.105
	普外手术室、腔镜手术室、镂空区域（北侧）	公众		1	4.0	公众照射	0.059
	缓库房、复苏室、CCU 工作区（西侧）	公众		1	4.5	公众照射	0.047
	设备间、体外循环室、防辐射手术室、空调机房（东侧）	公众		1	4.0	公众照射	0.059
	防辐射手术室、镂空区域、诊室、治疗室（南侧）	公众		1	4.5	公众照射	0.047
	医生办公室及其它医疗相关用房（楼上）	公众		1	4.0	公众照射	0.089
	医生办公室及其它医疗相关用房（楼下）	公众		1	4.0	公众照射	0.018
消化病中心	ERCP 室	手术医生	全身有效剂量	1	0.5	职业照射	0.880
			手部	1	0.3	职业照射	16.15
		护士		1	1.0	职业照射	0.220
	控制室（北侧）	操作设备的技师		1	3.0	职业照射	0.105

治疗室、无菌库房、镜库、医护通道、卫生间（北侧）	公众	1	4.0	公众照射	0.059
麻醉室、复苏室、胃肠镜室、配药室、术前准备室、库房、控制室、等候区、内镜室（西侧）	公众	1	4.0	公众照射	0.059
治疗室（东侧）	公众	1	4.0	公众照射	0.059
门诊医技楼（东侧）	公众	1	30.0	公众照射	0.001
科研楼（南侧）	公众	1	45.0	公众照射	<0.001
肝胆外科超声介入室、超声谈话室、中控室及其它医疗相关用房（楼上）	公众	1	4.0	公众照射	0.077
停车库（楼下）	公众	1	4.0	公众照射	0.089

综上所述，本项目职业人员所受剂量均小于 5mSv/a 的年剂量约束值，公众所受剂量均小于 0.1mSv/a 的年剂量约束值。

六、地表水环境影响分析

本项目运行后，废水（除放射性废水外）主要为辐射工作人员和患者产生的生活污水及医疗废水。生活废水依托医院污水处理设施处理达标后排入市政污水管网；医疗废水通过预处理池处理后经过医院污水处理站预处理（采用“生物接触氧化+二氧化氯消毒”）达标后，经市政管网进入南充市高坪污水处理厂处理。

七、固体废物影响分析

本项目固体废物（除放射性固体废物）主要为介入手术过程中产生的医疗废物和生活垃圾。介入手术时将会产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾，按照危废管理相关要求，进行分类收集；医院未使用完和过期的造影剂作为医疗废物进行处理，造影剂不属于重金属和其他持久性有机物，不存在泄露风险，临时堆放于医疗废物暂存间内，最终与医院医疗废物统一交由有危废处理资质的单位处理；辐射工作人员会产生少量的生活垃圾及办公垃圾由环卫部门统一定期清运。

八、声环境影响分析

本项目噪声源主要为治疗室风机和空调噪声，所有设备选用低噪声设备，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

环境影响风险分析

一、环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在建设、运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

二、风险识别

（一）非密封放射性物质工作场所

①放射性药物丢失、被盗或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，从而形成环境介质的放射性污染；

②在放射性药品的分装和注射操作，会产生撒漏的可能性，这样就会使室内的设备、地面等受到放射性污染。

（二）医用直线加速器可能发生的事故

医用直线加速器不运行时不存在辐射事故，也不存在影响辐射环境质量事故，只有当加速器运行期间才会产生 X 射线、电子束、中子线、感生放射性等危害因素，而且最大可能的事故主要有三种：

①医用直线加速器运行时其它无关人员误入或滞留于加速器治疗室；

②检修时，检修人员触动直线加速器开关，造成检修人员发生急性重度放射病、局部器官残疾；

③在医用直线加速器运行过程中通风系统出现故障，加速器仍然运行，导致臭氧累积使机房内浓度增高。

（三）后装机可能发生的事故

后装机中含有放射源 ^{192}Ir ，按其出厂活度划分，均属于 III 类放射源管理， ^{192}Ir 会释放 β 和 γ 射线等危害因素，如无正当防护也会造成放射性事故，最大可能发生的事故如下：

①放射源丢失、被盗；

②人员在后装治疗室误照射事故；

③放射源工作或者贮存过程中发生火灾、爆炸等事故。

（四）DSA 和 C 型臂 X 射线机可能发生的事故

本项目使用的 DSA 和 C 型臂 X 射线机属于Ⅱ类射线装置，属中危险射线装置，事故时可使受照人员产生较严重的放射损伤，大剂量照射甚至可导致死亡。设备不运行时不可能发生放射性事故，也不存在影响辐射环境质量事故，只有当机器运行期间才会产生 X 射线等危害因素，而且最大可能的事故主要有两种：

①在介入手术操作中，设备控制系统失灵；

②设备 X 射线源处于“曝光”状态，介入手术人员在距 X 射线管非主射束方向进行介入手术操作。

（五）Ⅲ类医用射线装置可能发生的辐射事故

本项目共涉及Ⅲ类医用射线装置 2 台，分别为 1 台 PET-CT、1 台 SPECT-CT，为低危险射线装置，其可能发生的辐射事故如下：

①设备运行时其它无关人员误入或滞留于扫描室；

②医务人员误操作，导致病人受超剂量照射或受其它的额外照射。

三、源项分析

核医学科所用的核素，产生 α 、 β 和 γ 射线。由 α 、 β 辐射在空气中射程较短，易于防护，故核医学诊治可能发生的风险事件中，其风险因子为 γ 射线。

医用直线加速器会产生 X 射线、电子线、中子、感生放射性、臭氧，感生放射性、臭氧经通风设施换气、稀释，对大气环境基本无影响，电子线和中子经治疗室屏蔽体的材料和厚度屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故医用直线加速器可能发生的风险事故中，其风险因子主要为 X 射线。

后装机中含有放射源 ^{192}Ir ，其属于Ⅲ类放射源，会产生 β 和 γ 射线以及臭氧。臭氧经通风设施换气、稀释，对大气环境基本无影响； β 射线在空气中的射程较短，经放射源的内包鞘和后装机的相关设施屏蔽后，在环境辐射方面已无影响；故在后装机可能发生的风险事故中，其风险因子主要为 γ 射线。

DSA、PET-CT、SPECT-CT 操作过程中，其风险因子为 X 射线。

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事

故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-19。

表 11-19 辐射事故等级划分表

事故等级	潜在危害
一般辐射事故	是指 IV、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。
较大辐射事故	是指 III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
重大辐射事故	是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
特别重大辐射事故	是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系（表 11-20）：

表 11-20 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系表

辐射剂量/ Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/ Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

四、后果计算

（一）核医学科事故后果计算

1、放射性药物意外泄漏或丢失事故

（1）事故情景假设

- ①显像剂（ $\text{Na}^{99\text{m}}\text{Tc O}_4$ ）瓶在注射室丢失，丢失时内装 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度最大为 1Ci；
- ②假设丢失后在整个事故持续时间瓶内 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 未发生洒漏，事故持续过程中按点

源考虑；

③保守假设事故持续时间内，丢失的药物被同一人随身携带，距离按 20cm 考虑；

④携带人员无任何屏蔽措施；

⑤事故持续时间为 2.5h。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出，距源0.2m的个人有效剂量，计算结果见表 11-21。

表11-21 ^{99m}Tc 丢失事故下不同持续时间个人有效剂量分布

距源距离 (m)	事故持续时段内 γ 射线所致辐射剂量 (mSv)				
	0.5h	1h	1.5h	2h	2.5h
0.2	15.25	30.5	45.75	61.0	76.25

(3) 事故后果

由表11-21可以看出，在事故持续时间为30min、1h、1.5h、2h和2.5h的情况下，距放射源0.2m处的 γ 射线外照射辐射剂量分别为0.0153Gy、0.0305Gy、0.0458Gy、0.0610Gy和0.0763Gy，携带显像剂 ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$) 人员 (或近距离公众)在事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射。结合表11-20可知，考虑的整个事故持续周期2.5h内，急性放射病发病率均在1%之下，为一般辐射事故。上述事故计算过程中并未考虑 ^{99m}Tc 的衰变，因此该计算结果是偏保守的。

2、显像剂 ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$) 意外洒漏

(1) 事故情景假设

① $\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$ 试剂瓶打翻或破碎，导致 ^{99m}Tc 洒漏于操作台，假设发生事故时试剂瓶盛装 ^{99m}Tc 溶液5mL，活度为100mCi；

②工作人员在用滤纸吸干、擦拭、清污过程中，距离洒漏点约0.5m；

③工作人员穿铅橡胶围裙，假设事故处理时间需要持续30min。

(2) 剂量估算

在假设事故情境下，工作人员在事故持续时间内的受照剂量为1.4mSv/次，未超过职业外照射年剂量限值（计算过程未考虑铅橡胶围裙的屏蔽，假设事故情景为显像剂全部洒漏，计算结果偏保守）。故工作人员在操作中应严格遵守操作规程，操作过程中尽量避免该类事故的发生。发生事故时尽快进行处理，减小事故处理时间。事故

处理时应穿带工作衣帽，带胶手套。事故处理的的冲洗水需统一收集，进入放射性废液收集处理系统，不能直接排放。

（二）15MV 医用直线加速器事故的后果计算

本次评价以 X 射线能量较高的 15MV 直线加速器进行事故分析，在其治疗过程中，其它无关人员误入或滞留治疗室内为例进行事故后果计算。

1、事故情景假设

（1）在对病人进行治疗时，15MV 直线加速器主射束 1m 处剂量率为最大值 24Gy/min，假设考虑安全联锁失效，有人员误入机房，人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头射束 1m 处的散射方向，X 射线散射束的空气比释动能率取主射束方向的 1%，每次误入照射时间为 30 秒。

（2）在维修人员进行检修时，假设触动直线加速器开关，造成维修人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头射束 1m 处的直射方向，15MV 直线加速器主射束 1m 处剂量率为最大值 24Gy/min，每次误入照射时间为 3~4 秒。

2、后果计算与分析

（1）通过计算，在以上假设事故情景下，误入人员受到的辐射剂量为 0.12Sv/次，超过人员年剂量限值（20mSv），结合表 11-20，为较大辐射事故。

（2）通过计算，在以上假设事故情景下，若照射时间为 4 秒，则维修人员受到的辐射剂量为 1.6Sv/次，结合表 11-20，为较大辐射事故。

（三）后装机事故的后果计算

1、事故假设

本装置配备有 UPS 电源，在停电时，依靠 UPS 完成关闭放射源操作。当控制系统出现故障到地址自动关源系统失效时，出现卡源，可通过手动机械复位，手动机械复位时间约 3min。

2、剂量估算

在假设事故情况下，手动处理卡源事故时所受的照射剂量为 23.25mSv。

3、事故后果

在上述事故情景假设条件下，处理卡源事故的人员已受到超年剂量限值的照射，结合表 11-20，为一般辐射事故。

（四）DSA 事故的后果计算

1、介入手术过程中，发生介入手术人员超剂量照射

（1）事故假设

①在介入手术操作中，DSA 控制系统失灵；

②DSA X 射线源处于“曝光”状态，介入手术人员在距 X 射线管非主射束方向进行介入手术操作；

③假定该名手术人员在此停留时间为 6min，为穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品（防护厚度均为 0.5mm 铅当量）。

（2）剂量估算

在上述条件下，若以《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表 G1.4 中入射体表剂量率 100mGy/min 估算，得出术中误照人员受照剂量约为 600mGy/次。

（3）事故后果

在上述事故情景假设条件下，受 X 射线源误照人员年剂量已超过约束值，属于一般辐射事故。

2、维修射线装置时，人员受意外照射

（1）事故情景假设

①设备维护人员在维护 DSA X 射线机射线管或测量探测器时，突然发现射线管正处于出束状态，便立即离开中断电源；

②假若维护时，DSA 以透视模式运行，距靶 1m 处的辐射剂量率为 6.984 mGy/min；

③DSA 上的指示灯和声音装置均失效；

④维护人员位于 X 射线主射束方向，距靶 1m 的地方，停留时间 2min，无任何屏蔽措施。

（2）剂量估算

根据上述条件，计算得出维护人员受照剂量为 13.90mGy/人·次。

（3）事故后果

在上述事故情景下，维护人员已受到超过年剂量限值的照射，结合表 11-20，为一般辐射事故。

五、事故情况下的环境影响分析与防范应对措施

（一）核医学科可能发生的事故及应对措施

本项目涉及的核医学科诊断场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。按国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应参照II类密封型放射源工作场所的相关要求，实施辐射安全管理。由于核素的操作量较大，一旦发生事故有可能导致环境的放射污染。核医学科诊治过程中较常见的事故有：

①放射源和放射性药物丢失、被盗或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，从而形成环境介质的放射性污染。

应对措施：医院应当在放射源和放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录，实行专人专锁专管，切实做好防火防盗，以此避免此类事故的发生。

②射性药品的给药、注射等操作，会产生撒漏的可能性，这样就会使工作室、治疗室内的设备、地面等受到放射性污染。

应对措施：对大剂量的治疗用量必须格外小心，要严格按照操作规程进行，尽量避免污染事故的发生，操作台面应有防治污染用的塑料覆面，在操作放射性核素和药物后应进行表面污染监测；在核医学工作中，遇到放射性药品抛洒的意外情况时尽快进行处理，争取在最短的时间内将事故排除，事故处理时应穿戴防护用品，以避免不必要的污染。

③在放射性药物的给药过程中，因为多种原因导致工作人员获得高剂量照射。

应对措施：医院应制定针对放射性核素紧急情况的应急程序，放射性职业人员应进行辐射防护的培训，并且对辐射工作人员进行个人剂量的监测。

对于上述可能发生的各种事故，医院方面除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意了建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要内容有：

a.建立全院安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。

b.加强人员的培训，考试（核）合格、持证上岗。

c.建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。

d.制定全院事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

(二) 15MV 直线加速器事故的防范应对措施

①直线加速器运行时其它无关人员误入或滞留于加速器机房。

应对措施：加速器自身有多种安全防护措施，如辐射启动装置与控制台上显示的辐射参数预选值联锁，选择参数前辐照不能启动；安装有两套独立的剂量监测系统，每套皆可单独终止照射；有门机安全联锁，机房门关闭后辐射才能启动。

②医务人员误操作，导致病人受超剂量照射或受其它的额外照射；

应对措施：加速器的控制台上显示有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

(三) 后装机的事故与应对措施

①放射源丢失、被盗，且放射源屏蔽体可能被人为破坏，放射源对人员造成近距离照射。一定时间内，可能导致人员急性重度放射病、局部器官残疾甚至死亡。

应对措施：医院应该采取各种行之有效的措施，防止被盗或者丢失。特别是定期对放射源要进行核实，确保其处于指定位置，对放射源实行 24 小时监控。一旦发现放射源被盗或者丢失，及时向公安部门、环境保护主管部门和卫生部门报告。

②人员受误照射。治疗过程中人员误入或滞留于治疗室，造成有关人员被误照射，引发辐射事故。

应对措施：工作人员遵守相关操作规程，治疗过程中任何人员不得进入治疗室。每次开机治疗前必须确认所有人员全部撤出治疗室。一旦发生辐射事故，必须马上停机收源，对受照人员进行身体检查，确定是否有伤害，以便采取相应救护措施。

③放射源工作或者贮存过程中发生火灾、爆炸等可能影响放射源的安全。

应对措施：放射源在使用和贮存过程中，应远离易燃、易爆物品，配备专门的灭火器材。一旦发生火灾，在现场允许情况下，应优先对放射源进行灭火并抢离火灾现场，防止放射源屏蔽体破坏。

若出现卡堵源情况，首先迅速将病人撤出治疗室，医院关闭后装治疗室，专业技术人员到来前不得开启，同时派专人职守，防止无关人员进入事故现场，及时联系生产厂家或指定维修单位进行处理。专业技术人员排除事故时，应配备铅衣、铅手套、

铅眼镜等防护措施和必要的剂量监测设备，并严格控制与放射源近距离操作的时间。

后装机使用的 ^{192}Ir 放射源为 III 类放射源，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，该类放射源可能导致较大辐射事故，发生该类事故应即时上报当地生态环境局和四川省生态环境厅。

（四）DSA 和 C 型臂 X 射线机的事故与应对措施

DSA 和 C 型臂 X 射线机属于 II 类射线装置，为中危险射线装置，事故时可使受照人员产生较严重的放射损伤，但由于设备的特殊性，事故时使受照人员受大剂量照射甚至导致死亡的几率很小。开机时，医生与病人同处一室，且距 X 射线机的管头组装体约 1m 左右，距病人很近，介入机主要事故是因曝光时间较长，防护条件欠佳对医生和病人引起的超剂量照射，其级别为一般辐射事故。

为了防止事故的发生，应做好以下工作：

①购置工作性能和防护条件均较好的介入诊疗设备；②实施介入诊疗的质量保证；③做好医生的个人防护；④做好病人非投照部位的防护工作；⑤按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，当导致一般辐射事故时，医院即时上报当地生态环境局。

（五）PET-CT 和 SPECT-CT 医用射线装置事故分析与防范应对措施

本项目共涉及 III 类医用射线装置 2 台，为低危险射线装置，发生事故时一般不会对受照者造成辐射损伤，事故等级属一般辐射事故。

III 类医用射线装置主要事故是由于设备控制失灵或操作失误或质保不佳，使被检者受到不必要的照射。因此，在诊断过程中应注意对被检者的防护，合理使用 X 射线，实施医疗照射防护最优化的原则，实际操作中可采用“高电压、低电流、重过滤、小视野”的办法，使被检者所受的剂量，达到合理的尽可能的低水平。同时，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，当导致一般辐射事故时，医院即时上报当地生态环境局。

（六）事故综合防范应对措施

医院在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，避免各辐射工作场所出现人员滞留事故发生；定期检查各辐射工作场所的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效，同时应当加强控制区和监督区的管理，避免人员误入事故的

发生。

当事故发生时应当立即启动事故应急程序，对于可能发生的各种事故，医院方面除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意了建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要内容有：

- ①建立安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。
- ②加强人员的培训，考试（核）合格、持证上岗。
- ③建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。
- ④制定医院事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理

一、辐射防护安全和应急救援工作领导小组

南充市中心医院已成立放射诊疗与辐射安全管理委员会，医院于 2020 年 1 月 10 日对其进行调整，关于调整放射诊疗与辐射安全管理委员会的通知（院行发[2020]9 号）见附件 4，主任委员为伍季。辐射安全管理委员会文件仅包含小组成员名单和办公地点，还需补充的内容：

- ①贯彻执行《放射诊疗管理规定》，并组织落实。
- ②定期检查医院辐射工作人员执行各项规章制度和技术操作规程情况，保证辐射防护、安全与诊疗质量。
- ③定期委托有资质的单位对辐射工作场所进行监测，保证辐射水平符合有关规定。
- ④按照国家对辐射防护的有关规定和标准，定期对医院辐射工作人员进行上岗前、在岗期间、离岗时的职业健康体检。
- ⑤定期进行专业及防护知识培训，并督促辐射工作人员建立个人剂量、职业健康管理和教育培训档案；建立辐射防护的相关资料并存档；督促制定年度工作计划，并完成工作总结。
- ⑥负责组织应急准备工作，调度人员，指挥辐射事故应急救援行动，负责向上级行政主管部门报告辐射污染事件应急救援情况。

南充市中心医院江东院区（下中坝院区）正式投入运行后，应及时调整辐射安全管理委员会的结构及相关负责人职责职能。

二、辐射工作岗位人员配置和能力分析

1、辐射工作岗位人员配置和能力现状分析

- ①医院辐射工作人员配置情况：本项目需配备辐射工作人员 74 人，医院可根据设备数量，承担诊疗、科研任务，开展的项目和工作量等实际情况适当增减人员编制。
- ②核素和射线操作人员均需取得射线装置操作证书，熟悉专业技术。
- ③辐射工作人员需参加辐射安全与防护培训学习。
- ④医院应定期委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行检测，且应建立辐

射工作人员个人剂量档案管理。

⑤对放射性同位素、放射源、医用射线装置，应加强操作人员对其安全操作的培训。

⑥辐射工作人员应当参加并通过生态环境部培训平台上（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）的线上考核，考核合格后，方可上岗。

⑦个人剂量档案管理人员应将每季度的检测结果告知辐射工作人员，如发现结果异常，将在第一时间通知相关人员，查明原因并解决发现的问题。

辐射安全档案资料管理和规章制度

一、档案管理分类

医院应将相关资料进行分类归档妥善放置，包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”、“废物处置记录”。

二、辐射安全管理规章制度

1、档案管理分类

医院对相关资料进行了分类归档放置，包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”、“废物处置记录”，存放在医务科办公室。

2、已建立主要规章制度

医院已制定了一系列辐射安全规章制度，具体见表 12-1：

表 12-1 项目单位辐射安全管理制度制定要求

序号	制度名称	制定制度的目的
1	辐射防护安全责任制度	明确医院具体的辐射管理工作，辐射管理人员的相关职责，医生、护士、技师的岗位分工及职责
2	辐射工作设备操作规程	明确医用直线加速器、后装机、DSA、C 型臂 X 射线机、SPECT-CT、PET-CT 工作流程及其设备的操作程序，包括密封校准源的使用
3	辐射工作人员管理规章制度	明确辐射工作人员的责任和义务，包括正确佩戴个人剂量计
4	辐射工作人员个人剂量管理制度	明确医院辐射工作人员个人剂量的档案管理要求。对于每季度检测数值超过 1.25mSv 的，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在调查报告上签字确认，并与个人剂量检测报告一起存放备查。明确个人剂量计的佩戴方法

5	辐射安全和防护设施维护维修制度	明确设备维护维修的过程、人员及责任，在此期间其他人员的防护
6	场所分区管理规定	明确核医学科人流（工作人员和受检者）、物流的路径规划图，实现分区管理，划定控制区和监督区
7	放射性药物管理规定（购买、领用、保管和盘存）	明确放射性药物进出登记（包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况的详细记录等），做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整
8	放射源管理规定	明确放射源贮存、领取、使用、归还登记和检查，做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整
9	辐射事故应急预案	明确应急小组组成、预案运行机制（包括报告制定、现场控制、启动应急预案、现场报告等）、应急保障、辐射事故分级，辐射事故发生后应立即启动
10	监测仪表使用与校验管理制度	保证表面污染监测仪、γ辐射监测仪监测数据的准确性
11	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	明确辐射工作场所的监测因子、监测内容、监测频次及布点方案
12	辐射工作人员岗位职责	明确核医学科医生、护士、技师的岗位分工及职责
13	射线装置台账管理制度	明确装置名称、型号、生产厂家、设备参数、管理类别、使用场所
14	辐射工作人员培训制度	明确辐射工作人员参加培训学习的时间、学习地点和学习方式
15	质量保证大纲和质量控制检测计划	明确受检者非照射部位所采取的辐射防护措施

根据原四川省环境保护厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号）的要求，《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》悬挂于辐射工作场所。医院对于各项制度在日常工作中要加强检查督促，认真组织实施。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸大小应不小于400mm×600mm。

医院应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

一、工作场所监测

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

二、个人监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量片，监测周期为 1 次/季。

(1) 当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

(3) 根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前；对于工作中穿戴铅衣（如放射科操作）的情况，通常应根据佩带在铅衣里面躯干上的剂量计估算工作人员的实际有效剂量，当受照剂量可能超过调查水平时（如介入操作），则还需要在铅衣外面衣领上另外佩带一个剂量计，以估算人体未被屏蔽部分的剂量。

(4) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。医院应当将个人剂量档案保存终身。

三、医院自我监测

医院定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为 1 次/月。

四、监测内容和要求

(1) 监测内容：X、中子、 γ 射线、放射性废水(总 α 放射性、总 β 放射性)、表面沾污。

(2) 监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-2）

或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立监测数据台账。

表 12-2 本项目监测布点方案表

场所或设备	监测内容	监测布点位置
核医学科工作场所	γ 射线	SPECT-CT 注射/给药区、PET-CT 注射区、分装室、储源室、放射性废物暂存室、SPECT-CT 候诊室、PET-CT 候诊室、留观室、SPECT-CT 扫描室、PET-CT 扫描室、控制室 1、控制室 2
	放射性废水	放射性废水衰变池排放口
	X 射线	SPECT-CT 扫描室及 PET-CT 扫描室相邻的房间或过道、SPECT-CT 扫描室操作位和防护门、PET-CT 扫描室操作位和防护门
	表面污染	SPECT-CT 注射/给药区、PET-CT 注射区、分装室、储源室、放射性废物暂存室、SPECT-CT 候诊室、PET-CT 候诊室、留观室、SPECT-CT 扫描室、PET-CT 扫描室、卫生间、更衣室的墙壁、地面，辐射工作人员工作服、手套、工作鞋、手、皮肤
15MV 直线加速器	X 射线	墙体四周外侧、操作人员操作位、防护门外、迷道内墙外、治疗室正上方和正下方
	中子	治疗室防护门
后装机	γ 射线	墙体四周外侧、操作人员操作位、防护门外、迷道内墙外、治疗室正上方和正下方
DSA	X 射线	铅窗、操作位、防护小门、防护大门、与机房相邻的房间或过道、机房正上方和正下方
C 型臂 X 射线机	X 射线	铅窗、操作位、防护小门、防护大门、与机房相邻的房间或过道、机房正上方和正下方

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(4) 监测质量保证

a、制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与医院监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

b、采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

c、制定辐射环境监测管理制度。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

五、年度监测报告情况

医院应于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。医院应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）规定的格式编写《安全和防护状况年度评估报告》。医院必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”(网址 <http://rr.mee.gov.cn>)中实施申报登记。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

1、事故应急预案内容

为了应对放射诊疗中的事故和突发事件，医院制订了辐射事故应急预案，包含了以下内容：

①应急机构和职责分工，应急和救助的装备、资金、物资准备，辐射事故应急处理程序，辐射事故分级与应急响应措施，辐射事故调查、报告和处理程序，辐射事故的调查、预案管理。

②应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话。

③应急人员的培训；

④环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序中相关负责人员及联系电话；

⑥发生辐射事故时，应当立即启动应急预案，采取应急措施，并按规定向所在地县级地方人民政府及其生态环境、公安、卫健等部门报告。

2、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

（1）一旦发现放射性药物、放射源被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫健部门报告。

（2）若出现卡堵源事故，医院会迅速关闭后装治疗室，专业技术人员到来前不得开启，同时派专人职守，防止无关人员进入事故现场，及时联系生产厂家或指定维修

单位进行处理。专业技术人员排除事故时，应配备铅衣、铅手套、铅眼镜等防护措施和必要的剂量监测设备，并严格控制与放射源近距离操作的时间。

（3）放射源工作或者贮存过程中发生火灾、爆炸等可能影响放射源的安全，在现场允许情况下，应优先对放射源进行灭火并抢离火灾现场，防止放射源屏蔽体破坏。

（4）发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将病人撤出机房，关闭机房门，同时向医院主管领导报告。

（5）医院根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

（6）事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

（7）最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

3、其他要求

（1）辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案。

（2）在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：江东院区（下中坝院区）新增放射性同位素和射线装置应用项目

建设单位：南充市中心医院

建设性质：新建

建设地点：四川省南充市高坪区庙儿嘴村3组44号南充市中心医院江东院区（下中坝院区）

本次具体建设内容及规模为：医院拟在第二住院楼 1 层放疗中心使用 3 台 15MV 医用直线加速器（II 类射线装置），使用 1 台 ^{192}Ir 后装机（1 枚，活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，III 类放射源）；拟在第二住院楼 1 层核医学科使用放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 进行 SPECT-CT 影像诊断，使用放射性同位素 ^{18}F 、 ^{11}C 和 ^{68}Ga 进行 PET-CT 影像诊断，拟使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 进行敷贴治疗，并新引进 SPECT-CT 和 PET-CT 设备各 1 台（SPECT-CT 和 PET-CT 均为 III 类射线装置），核医学科工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。医院拟在急诊楼 3 层及门诊医技楼 4 层介入诊疗科使用 3 台数字减影血管造影机（DSA，II 类射线装置）；拟在第三住院楼 1 层消化病中心使用 1 台 C 型臂 X 射线机（II 类射线装置）。

二、本项目产业政策符合性分析

本项目系核和辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据《国家发展改革委关于修改〈产业结构调整指导目录（2019 年本）〉有关条款的决定》的相关规定，本项目属第一类鼓励类项目的第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。本项目的运营可为南充市及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全市医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射性实践的正当性。

三、本项目选址合理性分析

本项目位于南充市中心医院江东院区（下中坝院区）。项目运营对环境基本无影响。本评价认为其选址是合理的。

四、工程所在地区环境质量现状

根据四川省永坤环境监测有限公司的监测报告，项目所在地的 γ 辐射空气吸收剂量率背景值属于正常天然本底辐射水平。

五、环境影响评价分析结论

（一）施工期环境影响分析

本项目辐射工作场所土建工程属于“南充市中心医院下中坝院区建设项目”的内容之一，其施工期环境影响包含在《南充市中心医院下中坝院区建设项目环境影响报告书》中，批复文号为川环审批[2012]725号。

医院强化施工期环境管理，严格落实施工期各项环保措施，采取有效措施，尽可能减缓施工期对环境产生的影响。

（二）营运期环境影响分析

1、放疗中心环境影响分析

1#、2#、3#加速器控制室内医生所受有效剂量为 0.278mSv/a，公众所受年有效剂量为 0.087mSv/a。

2、核医学科诊断场所的环境影响分析

核医学科所致医师所受年有效剂量为 0.140 mSv/a，技师所受年有效剂量为 4.221mSv/a，护士所受年有效剂量为 0.917mSv/a，公众所受年有效剂量为 0.082mSv/a。

PET-CT 和 SPECT-CT 投入运行后，产生的 X 射线经机房墙体、门屏蔽防护后，对机房外公众和职业人员影响较小。

3、DSA 和 C 型臂 X 射线机的环境影响分析

射线装置投入运行后，每名手术医师的年有效剂量最大为 0.880mSv/a，每名护士的年有效剂量最大为 0.220mSv/a，操作设备的技师年有效剂量最大为 0.105mSv/a，所致公众的年有效剂量最大为 0.089mSv/a。

综上所述，本项目工作人员所受的年剂量均低于本次评价中所确定的 5.0mSv 的年剂量约束值，公众所受的年剂量均低于本次评价中所确定的 0.1mSv 的年剂量约束值。辐射工作场所墙体、防护门均满足辐射防护要求。

六、事故风险与防范

医院制订的辐射事故应急预案和安全规章制度内容较全面、措施可行，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

七、环保设施与保护目标

医院现有环保设施配置较全，总体效能良好，可使本次环评中确定的所有保护目标，所受的辐射剂量，保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

八、医院辐射安全管理的综合能力

医院严格落实本报告提出的规章制度、环保措施，具备辐射安全管理的综合能力。

九、环境影响评价报告信息公开

在本项目环境影响报告表送审前，建设单位南充市中心医院在医院网站上进行了公示，截至报告送审前，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

十、项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施，本评价认为从环境保护和辐射防护角度看项目在南充市中心医院下中坝院区建设是可行的。

十一、项目环保竣工验收检查内容

表 13-1 项目环保竣工验收检查一览表

项目	应具备条件	落实情况	要求新增措施
放疗中心（医用直线加速器）			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	本次新增	/
	铅防护门	本次新增	/
控制台及安全 连锁	防止非工作人员操作的锁定开关	仪器自带	/
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	仪器自带	/
	条件显示连锁、控制超剂量的连锁装置、时间控制连锁	仪器自带	/
	门机连锁、门灯连锁	本次新增	/
警示装置	入口电离辐射警示标志	本次新增	/
	入口加速器工作状态显示	本次新增	/
	机房内准备出束音响提示	仪器自带	/

	控制台上蜂鸣器	仪器自带	/
紧急设施	治疗室内有紧急停机按钮	本次新增	机房内非主射面墙上 有按钮, 高度 1.2m
	监控、对讲装置	本次新增	保证机房全覆盖
	紧急开门按钮	本次新增	迷道出口处的铅门 内侧墙上, 按钮高度 1.2m
监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪	本次新增	/
	便携式辐射监测仪器仪表	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
	个人剂量计	本次新增	/
防护器材	通风系统	本次新增	/
放疗中心（后装机）			
装置安全 设施	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
	施源器与源联锁	设备自带	/
	管道遇堵自动回源	设备自带	/
	仿真源模拟运行系统	设备自带	/
	主机外表电离辐射警示标志	设备自带	/
	控制台显示放射源位置	设备自带	/
	控制台紧急停止照射按钮	设备自带	/
	停电或意外中断照射时自动回源装置	设备自带	/
	手动回源装置	设备自带	/
实体防护	防护墙体、迷道、铅防护门	本次新增	/
	防盗门窗	本次新增	/
	¹⁹² Ir 源专用贮存柜/保险柜	本次新增	/
应急、连锁	放射源返回储源器的应急开关	本次新增	/
	治疗室门与源联锁	本次新增	/
警示装置	停电或意外中断照射时声光报警	本次新增	/
	治疗室电视监控对讲装置	本次新增	/
	电离辐射警示标志和工作状态指示灯	本次新增	/
监测 设备	治疗室辐射水平监测仪	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
	个人剂量计	本次新增	/
防护器材	通风系统	本次新增	/
核医学科			
工作 场所	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	分区较合理	/
	墙体防护、观察窗、铅防护门	本次新增	/
	场所门外电离辐射警示标志、通道标志	本次新增	/
	独立的通风设施（流向）	本次新增	/
	有负压和过滤的工作箱/通风柜（乙级以上场所）	本次新增	/

设施	注射用屏蔽设施	本次新增	/
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	本次新增	/
	移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂套	本次新增	/
	病人专用卫生间	本次新增	/
	放射性同位素暂存库或设施	本次新增	/
	放射性固体废物收集容器和放射性标识	本次新增	/
	安全保卫设施（贮存场所必须）	本次新增	/
	人员出口配备污染监测仪	本次新增	/
	发生器辐射屏蔽	发生器自带	/
	操作位屏蔽防护措施	本次新增	/
	放射性废液暂存设施	本次新增	/
警示装置	工作状态指示灯	本次新增	/
紧急设施	门机连锁、门灯连锁装置	本次新增	/
	室内安装紧急制动装置	本次新增	/
监测设备	便携式辐射监测仪（污染、辐射水平等）	本次新增	/
	个人剂量计	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
	放射性活度计	本次新增	/
放射性废物和废液	放射性下水系统（衰变池）及标识	本次新增	/
	放射性固体废物暂存间（设施）	本次新增	/
	废物暂存间屏蔽措施	本次新增	/
	废物暂存间通风系统	本次新增	/
防护器材	通道铅隔板、门禁、监控装置	本次新增	/
	场所门外电离辐射警示及禁止串门的标志	本次新增	/
	个人防护用品	本次新增	/
	放射性表面去污用品和试剂	本次新增	/
DSA 及 C 型臂 X 射线机			
场所设施	墙体、机房防护门	本次新增	/
	操作位局部屏蔽防护设施	本次新增	/
	观察窗屏蔽	本次新增	/
	通风设施	本次新增	/
	紧急停机按钮	本次新增	/
	门机连锁、门灯连锁	本次新增	/
	监控、对讲系统	本次新增	/
警示装置	入口处电离辐射警告标志	本次新增	/
	入口处机器工作状态显示	本次新增	/
	操作警示装置	本次新增	/
监测设备	便携式辐射监测仪	本次新增	与放疗中心共用
	个人剂量计	本次新增	/

	个人剂量报警仪	本次新增	/
防护设施	医护人员个人防护	本次新增	/
	患者防护	本次新增	/
防护器材	通风系统	本次新增	/
综合管理	《辐射防护安全责任制度》、《辐射工作设备操作规程》、《辐射工作人员管理规章制度》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射安全和防护设施维护维修制度》、《场所分区管理规定》、《放射性药物管理规定（购买、领用、保管和盘存）》、《放射源管理规定》、《辐射事故应急预案》、《监测仪表使用与校验管理制度》、《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》、《辐射工作人员岗位职责》、《射线装置台账管理制度》、《辐射工作人员培训制度》、《质量保证大纲和质量控制检测计划》		

建议和承诺

- 1、建设单位应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。
- 2、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 3、定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训与考核，培训超过 5 年的，应组织复训。
- 4、每年要对射线装置使用情况进行年度评估，每年 1 月 31 日前将评估结果报送省生态环境厅和当地生态环境主管部门，安全和防护状况年度评估报告要按照《四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》格式进行编制；并且年度评估报告的电子档还应上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）。
- 5、经常检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。
- 6、医院须重视控制区和监督区的管理。
- 7、现有射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。
- 8、医院在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），对相关信息进行修改。

9、本次环评放射性同位素及射线装置工作场所，日后如有变化，应另作环境影响评价。

10、若今后后装机不再使用， ^{192}Ir 放射源应由生产厂家回收，并委托有资质的单位对工作场所进行退役监测。若今后该核医学科不再使用，医院必须经生态环境主管部门监测并进行乙级非密封放射性工作场所退役环评后，方可再行使用；

11、加速器退役时，应对加速器部件的感生放射性进行一次调查，测定辐射水平，高于豁免值的部件应作为放射性固体废物进行处理。

12、根据原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评（2017）4号）规定：

（1）建设单位可登陆环境保护部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://kjs.mee.gov.cn/hjbhzbz/bzwb/other>）。

（2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收（调查）报告。

（3）本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，方可投入使用，未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

（4）除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：

①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

③验收报告编制完成后5个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于20个工作日。

建设单位公开上述信息的同时，应当在建设项目环境影响评价信息平台（<http://114.251.10.205>）中备案，同时应当向所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。

